

Universität Duisburg-Essen
Fakultät für Bildungswissenschaften
Lehrstuhl für Lehr-Lernpsychologie

Adaptives Feedback zur Unterstützung des selbstregulierten Lernens durch Experimentieren

Dissertation zur Erlangung des Grades Dr. Phil.
vorgelegt von Dipl.-Psych. Jessica Marschner
geboren am 08.07.1981
in Berlin

Erstgutachter: Prof. Dr. Detlev Leutner, Universität Duisburg-Essen
Zweitgutachter: Prof. Dr. Joachim Wirth, Ruhr-Universität Bochum

Tag der mündlichen Prüfung: 28. März 2011

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all denjenigen danken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben und mit deren Hilfe ich mein Dissertationsvorhaben erfolgreich abschließen konnte.

An erster Stelle gilt der Dank Herrn Prof. Dr. Detlev Leutner und Herrn Prof. Dr. Joachim Wirth, die die Begutachtung meiner Arbeit übernommen haben und die mich während der Dauer meines Dissertationsprojektes sehr gut betreut haben.

Ein besonderer Dank gilt Dr. Hubertina Thillmann, die mich die ganze Zeit hindurch intensiv betreut hat und mich nicht nur fachlich, sondern auch motivational unterstützt hat.

Als Mitglied des Graduiertenkollegs „Naturwissenschaftlicher Unterricht“ konnte ich auf zahlreiche Unterstützung zurückgreifen, in Gestalt von Mitdoktoranden, Postdocs und Professoren. Besonderer Dank gilt hier Mitarbeitern der Chemiedidaktik wie Isabel Wahser, Sabine Fechner und Prof. Dr. Elke Sumfleth, die geholfen haben die Lernumgebung zu „Säuren und Basen“ umzusetzen. Einen besonderen Dank auch an Dr. Helene Kruse, die bei der Stichprobengewinnung sehr geholfen hat.

Erwähnen möchte ich zudem Jill Gößling, die nicht nur drei Jahre lang eine liebe Bürokollegin gewesen ist, sondern die mich auch fachlich sehr unterstützt hat. Ich danke ihr für ihre positive Sicht auf die Dinge, das offene Ohr und dafür, dass wir die aufgetretenen Probleme gemeinsam durchstehen konnten.

Danken möchte ich all den studentischen Hilfskräften, die geholfen haben, die Erhebungen in den Schulen durchzuführen. Vielen Dank besonders an Kim Ludwig, Jennifer Herringer und Larissa Wirch, die mit starkem körperlichen Einsatz geholfen haben, aber auch fleißig Daten eingegeben und sonstige Aufgaben gerne übernommen haben.

Vielen Dank zudem an Hamza Sati, der die Lernumgebungen so fertig programmiert hat, dass ich sie für die Studien an den Schülern einsetzen konnte. Erwähnen möchte ich auch Dr. Bernd Proff, der uns äußerst hilfsbereit und freundlich mit Ausleih-Laptops unterstützt hat.

Meiner Familie und meinen Freunden danke ich für ihren Glauben an mich und das Gelingen meines Vorhabens, der manchmal größer war als mein eigener. Meiner Mutter Hannelore Marschner, meiner Schwester Olivia Marschner, sowie Marion Haugwitz, Mareike Möller und Kerstin Stuparu möchte ich außerdem für das Korrekturlesen danken.

Zuletzt ein Dank an alle Schulleiter und Lehrer, die eine Testung an ihrer Schule möglich machten und an alle Studenten und Schüler, die an den empirischen Studien teilnahmen.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|----------------------------------|-----------|
| Tabellenverzeichnis | 06 |
|----------------------------------|-----------|

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Abbildungsverzeichnis | 08 |
|------------------------------------|-----------|

Theoretischer Teil

| | |
|----------------------------|-----------|
| 1. Einleitung | 10 |
|----------------------------|-----------|

| | |
|--|-----------|
| 2. Selbstreguliertes Lernen | 14 |
|--|-----------|

| | |
|--|----|
| 2.1 Übergeordnete und untergeordnete Strategien beim SRL | 18 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| 2.2 Strategiewissen und Strategienutzung | 22 |
|--|----|

| | |
|-----------------|----|
| 2.3 Fazit | 23 |
|-----------------|----|

| | |
|---|-----------|
| 3. SRL durch Experimentieren | 26 |
|---|-----------|

| | |
|--|-----------|
| 4. Probleme des SRL durch Experimentieren | 31 |
|--|-----------|

| | |
|---|-----------|
| 5. Unterstützung des SRL durch Experimentieren | 38 |
|---|-----------|

| | |
|--|----|
| 5.1 Probleme und Anforderungen beim Unterstützen von SRL durch Experimentieren..... | 39 |
|--|----|

| | |
|------------------------------------|----|
| 5.2 Formen der Unterstützung | 41 |
|------------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| 5.2.1 Unterstützung während des Lernens | 43 |
|---|----|

| | |
|------------------------------------|----|
| 5.2.2 Adaptive Unterstützung | 47 |
|------------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| 5.3 Feedback als Unterstützung des Lernens..... | 50 |
|---|----|

| | |
|--------------------------------|----|
| 5.3.1 Arten von Feedback | 51 |
|--------------------------------|----|

| | |
|-----------------------------|----|
| 5.3.2 Feedback und SRL..... | 55 |
|-----------------------------|----|

| | |
|-------------------------------------|----|
| 5.3.3 Wirksamkeit von Feedback..... | 59 |
|-------------------------------------|----|

| | |
|-------------------------------------|----|
| 5.4 Zusammenfassung und Fazit | 64 |
|-------------------------------------|----|

| | |
|---|-----------|
| 6. Fragestellungen und Hypothesen..... | 68 |
|---|-----------|

Empirischer Teil

| | |
|---|-----------|
| 7. Beschreibung der computerbasierten Lernumgebungen (CBLE)..... | 74 |
|---|-----------|

| | |
|---|----|
| 7.1 CBLE zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ | 76 |
|---|----|

| | |
|--------------------------------------|----|
| 7.2 CBLE zu „Säuren und Basen“ | 79 |
|--------------------------------------|----|

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 8. Strategiebezogene Maße..... | 84 |
|---------------------------------------|-----------|

| | |
|-------------------------------------|----|
| 8.1 Maße zur Strategienutzung | 84 |
|-------------------------------------|----|

| | |
|--|----|
| 8.2 Entwicklung und Evaluation eines Strategiewissenstest im Bereich Experimentieren..... | 86 |
|--|----|

| | | |
|------------|---|------------|
| 8.2.1 | Vorpilotierung an Studierenden | 88 |
| 8.2.2 | Pilotierung an Schülern | 95 |
| 8.2.3 | Fazit | 104 |
| 9. | Korrelationsstudie zur Überprüfung des Produktionsdefizits | 105 |
| 9.1 | Fragestellung und Hypothesen | 105 |
| 9.2 | Methode | 106 |
| 9.2.1 | Material und Instrumente | 106 |
| 9.2.2 | Stichprobe | 109 |
| 9.2.3 | Durchführung | 110 |
| 9.3 | Ergebnisse | 111 |
| 9.3.1 | Deskriptive Statistik | 112 |
| 9.3.2 | Inhaltlicher Wissenserwerb | 114 |
| 9.3.3 | Reihenfolge- bzw. Klassenunterschiede | 115 |
| 9.3.4 | Verlauf der aktuellen Motivation | 115 |
| 9.3.5 | Zur Evaluation des Strategiewissenstests | 116 |
| 9.3.6 | Zusammenhang zwischen Strategienutzung und Inhaltswissen | 119 |
| 9.3.7 | Zusammenhangsmuster zwischen Strategiewissen und Strategienutzung | 120 |
| 9.4 | Diskussion | 127 |
| 10. | Experimentelle Studie zur Förderung des SRL durch Experimentieren anhand von adaptiver Unterstützung | 131 |
| 10.1 | Fragestellung und Hypothesen | 131 |
| 10.2 | Methode | 133 |
| 10.2.1 | Design | 133 |
| 10.2.2 | Beschreibung des Algorithmus für die adaptive Unterstützung | 134 |
| 10.2.3 | Material und Instrumente | 137 |
| 10.2.4 | Stichprobe | 140 |
| 10.2.5 | Durchführung | 141 |
| 10.3 | Ergebnisse | 143 |
| 10.3.1 | Deskriptive Statistik | 143 |
| 10.3.2 | Inhaltlicher Lernzuwachs | 145 |
| 10.3.3 | Überprüfung von a-priori-Unterschieden | 145 |
| 10.3.4 | Einschätzung der Unterstützungsmaßnahmen durch die Schüler | 146 |
| 10.3.5 | Wirkung der Unterstützungsmaßnahmen auf Motivation | 148 |

| | |
|--|------------|
| 10.3.6 Wirkung der Unterstützungsmaßnahmen auf Strategienutzung | 150 |
| 10.3.7 Wirkung der Unterstützungsmaßnahmen auf inhaltliches Wissen | 152 |
| 10.3.8 Wirkung der Unterstützungsmaßnahmen auf Transfer | 153 |
| 10.4 Diskussion | 155 |
| 11. Zusammenfassende Diskussion | 162 |
| 11.1 Zum theoretischen Teil | 162 |
| 11.2 Zum empirischen Teil | 163 |
| 11.3 Theoretische und praktische Erträge | 168 |
| 12. Literaturverzeichnis | 171 |
| <i>Anhang</i> | |
| A Expertenmaps | 193 |
| A1 Relationen der Lernumgebung „Auftrieb in Flüssigkeiten“ | 194 |
| A2 Relationen der Lernumgebung „Säuren und Basen“ | 195 |
| B Wissenserwerbstest zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ (WET Physik) | 196 |
| B1 Prätest WET Physik | 197 |
| B2 Posttest WET Physik | 201 |
| C Glossare und Aufträge | 204 |
| C1 Glossar zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ | 205 |
| C2 Aufträge zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ | 206 |
| C3 Glossar zu „Säuren und Basen“ | 207 |
| C4 Aufträge zu „Säuren und Basen“ | 208 |
| D Adaptive Prompts und Feedbackbotschaften | 209 |
| E Übungseinheit „Wie kann ich aus Experimenten lernen“ | 218 |
| F Wissenserwerbstest zu „Säuren und Basen“ (WET Chemie) | 221 |
| F1 Prätest WET Chemie | 222 |
| F2 Posttest WET Chemie | 225 |
| G Essener Experimentierstrategie-Wissenstest 2 (EEST-2) | 228 |
| H Mittelwerte und Standardabweichungen der Kontrollvariablen nach Gruppenbedingung getrennt | 232 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|------------|
| 8.1 Reliabilitäten des Strategiewissenstests | 100 |
| 8.2 Vergleich der Klassen mit und ohne naturwissenschaftlichen Schwerpunkt | 100 |
| 8.3 Korrelationen zwischen Schulnoten und Strategiewissen | 101 |
| 8.4 Korrelationen zwischen Inhaltswissen und Strategiewissen | 101 |
| 8.5 Korrelationen zwischen Strategiewissen und Strategienutzung | 102 |
| 8.6 Reliabilitäten der Subskalen der Testversion A des Strategiewissenstests ... | 102 |
| 8.7 Korrelationen der Subskalen mit den entsprechenden Verhaltensmaßen.... | 102 |
| 9.1 Mittelwerte, Standardabweichungen und Reliabilitäten der verwendeten Messinstrumente | 113 |
| 9.2 Mittelwerte und Standardabweichungen der Strategienutzungsmaße der Physik-Lernumgebung..... | 114 |
| 9.3 Mittelwerte und Standardabweichungen der Strategienutzungsmaße der Chemie-Lernumgebung | 114 |
| 9.4 Korrelationen zwischen Versionen des Strategiewissenstests und aktueller Motivation zu den drei Messzeitpunkten | 116 |
| 9.5 Korrelationen zwischen Inhaltswissen zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ und Strategiewissen..... | 117 |
| 9.6 Korrelationen zwischen Inhaltswissen zu „Säuren und Basen“ und Strategiewissen..... | 117 |
| 9.7 Korrelationen zwischen Lerngewinn und Strategiewissen und Strategiewissen bei Ausparialisierung der Intelligenz..... | 118 |
| 9.8 Korrelationen zwischen Schulnoten und Strategiewissen | 118 |
| 9.9 Korrelationen zwischen Strategienutzungsmaßen und Inhaltswissen der Physik-Lernumgebung..... | 120 |

| | |
|---|------------|
| 9.10 Korrelationen zwischen Strategienutzungsmaßen und Inhaltswissen der Chemie-Lernumgebung | 120 |
| 9.11 Korrelationen zwischen Strategienutzungsmaßen der Physik-Lernumgebung und dem davor und danach gemessenen Strategiewissen | 121 |
| 9.12 Korrelationen zwischen Strategienutzungsmaßen der Chemie-Lernumgebung und dem davor und danach gemessenen Strategiewissen | 121 |
| 9.13 Absolute Häufigkeiten in den Quadranten der Streudiagramme die Strategienutzungsmaße der Physik-Lernumgebung..... | 126 |
| 9.14 Absolute Häufigkeiten in den Quadranten der Streudiagramme die Strategienutzungsmaße der Chemie-Lernumgebung | 127 |
| 10.1 Mittelwerte, Standardabweichungen und Reliabilitäten der verwendeten Messinstrumente..... | 144 |
| 10.2 Mittelwerte und Standardabweichungen der Strategienutzungsmaße der Physik-Lernumgebung..... | 144 |
| 10.3 Mittelwerte und Standardabweichungen der Strategienutzungsmaße der Chemie-Lernumgebung | 145 |
| 10.4 Mittelwerte und Standardabweichungen für Beurteilung der Unterstützung (Gesamtscore)..... | 146 |
| 10.5 Mittelwerte und Standardabweichungen für Item 2 (Unterstützung ist hilfreich) | 147 |
| 10.6 Mittelwerte und Standardabweichungen der Motivationszunahme zu Testtag 1 | 148 |
| 10.7 Mittelwerte und Standardabweichungen der aktuellen Motivation vor und nach der Intervention | 150 |
| 10.8 Mittelwerte und Standardabweichungen der Strategienutzung zu Testtag 1 | 151 |

10.9 Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen im residualen**Lerngewinn 153****10.10 Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen der AV zu Testtag 2... 154****H.1 Mittelwerte und Standardabweichungen der KV nach Gruppe..... 233**

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| 2.1 Wege internen Feedbacks beim Prozess des SRL | 17 |
| 5.1 Taxonomie adaptiven Feedbacks (nach Vasilyeva et al., 2007)..... | 54 |
| 7.1 Screenshot der Lernumgebung zu “Auftrieb in Flüssigkeiten” | 76 |
| 7.2 Neuer Notizblock und alter Notizblock | 78 |
| 7.3 Screenshot der Lernumgebung zu „Säuren und Basen“ | 80 |
| 7.4 Lupe in der Lernumgebung zu „Säuren und Basen“..... | 82 |
| 8.1 Verteilung der Studierendenstichprobe im Strategiewissenstest..... | 93 |
| 9.1 Streudiagramm zum Zusammenhang von Strategiewissen und Schlussfolgerungs-Maß (Physik) | 122 |
| 9.2 Streudiagramm zum Zusammenhang von Strategiewissen und Hypothesen-Maß (Physik) | 123 |
| 9.3 Streudiagramm zum Zusammenhang von Strategiewissen und IVK-Maß (Physik) | 123 |
| 9.4 Streudiagramm zum Zusammenhang von Strategiewissen und Schlussfolgerungs-Maß (Chemie) | 124 |
| 9.5 Streudiagramm zum Zusammenhang von Strategiewissen und Hypothesen-Maß (Chemie)..... | 125 |
| 9.6 Streudiagramm zum Zusammenhang von Strategiewissen und IVK-Maß (Chemie) | 125 |
| 10.1 Design der experimentellen Studie..... | 133 |
| 10.2 Boxplots der Experimentalgruppen in Item 2 | 147 |
| 10.3 Gruppenmittelwerte zur Motivationszunahme nach der Intervention..... | 149 |
| 10.4 Gruppenmittelwerte im Schlussfolgerungs-Maß..... | 152 |

1. Einleitung

Das Experimentieren als Bestandteil naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung hat eine große Bedeutung für den naturwissenschaftlichen Unterricht und ist ein wichtiger Aspekt der naturwissenschaftlichen Grundbildung (Fischer, Schecker & Wiesner, 2004; Kircher & Dittmer, 2004; Prenzel & Parchmann, 2003). Prenzel und Parchmann (2003) sagen dieses explizit: „Das Experiment repräsentiert (...) eine wichtige naturwissenschaftliche Arbeitsweise (...). Dem Experimentieren wird deshalb eine zentrale Funktion im naturwissenschaftlichen Unterricht zugesprochen.“ (S. 15). Im Rahmen der Bildungsstandards für die naturwissenschaftlichen Fächer ist das Experimentieren ein geforderter Lehr- und Lerngegenstand und ein erklärtes Bildungsziel (Klieme et al., 2003). So heißt es in den Bildungsstandards im Fach Chemie: „Das Experiment hat dabei [sc. beim Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung] eine zentrale Bedeutung.“ (S. 9, KMK, 2005a). Auch im Fach Physik wird das Experimentieren hervorgehoben: „Eingebettet in den Prozess physikalischer Erkenntnisgewinnung sind das Experimentieren und das Entwickeln von Fragestellungen wesentliche Bestandteile physikalischen Arbeitens.“ (S.10, KMK, 2005b). Die TIMSS- und PISA-Ergebnisse zeigen allerdings, dass Aufgaben zu naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen für deutsche Schüler¹ schwer zu lösen sind (Prenzel & Parchmann, 2003). So heißt es beispielsweise bei Baumert et al. (1997), dass am Ende der 8. Klasse nur 10-15 % der Schüler einfache experimentelle Designs verstehen. Zudem hat sich gezeigt, dass Schülerexperimente einen eher geringen Lernerfolg aufweisen und auch nicht unbedingt die erwarteten positiven Effekte bezüglich des Interesses zeigen (z.B. Hücke & Fischer, 2002; Lunetta, 1998). Somit ist es von Interesse herauszufinden, wie die Fertigkeiten des Experimentierens gefördert werden können und wie der Lernerfolg beim Schülerexperiment gesteigert werden kann.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Fertigkeiten des Experimentierens und deren Förderung, indem sie eine Form des selbstregulierten Lernen (SRL) untersucht, das selbstregulierte Lernen durch Experimentieren. Diese Lernform sollte zu einem tieferen Verständnis naturwissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen führen und zudem motivierend sein.

Selbstreguliertes Lernen (SRL) bedeutet, die Verantwortung des eigenen Lernprozesses dem Lerner zu übertragen, welcher eigenständig seinen Lernprozess kontrollieren und

¹ Der Einfachheit halber wird in dieser Arbeit statt Schülerinnen und Schüler nur die maskuline Form Schüler genannt, gemeint ist damit aber immer auch die feminine Form.

steuern muss. Dieses ist eine anspruchsvolle Aufgabe und bringt verschiedene Anforderungen mit sich (vgl. Veenman, Elshout & Busato, 1994). Das spiegelt sich auch in Problemen wieder, die Lerner beim selbstregulierten Lernen zeigen, wie diese Arbeit aufzeigen wird. Laut Butler und Winne (1995) sind sich die Theoretiker zwar einig, dass selbstregulierte Lerner die effektivsten Lerner sind, aber nicht jeder Lerner ist automatisch ein guter selbstregulierter Lerner und somit erfolgreich. Bevor es zur Selbststeuerung des Lernens kommt, geschieht ein großer Teil des Lernens durch die Steuerung von anderen (Brown, 1984). Ein Lerner muss erst lernen, selbstreguliert zu lernen und braucht entsprechend Unterstützung.

Ausgangspunkt dieses Dissertationsprojektes ist die Feststellung, dass ohne jegliche Unterstützung das SRL durch Experimentieren schwierig und ineffizient ist und die Lerner eine angemessene Form von Unterstützung bedürfen (Azevedo, Cromley & Seibert, 2004a; de Jong & van Joolingen, 1998; Klahr & Dunbar, 1988; Moreno, 2004; Moreno & Mayer, 2005; van Joolingen, de Jong & Dimitrakopoulou, 2007). Warum und wie man SRL durch Experimentieren unterstützen sollte, will diese Arbeit deutlich machen. Ziel ist es herauszuarbeiten, wo Unterstützungsmaßnahmen ansetzen sollten und welche Eigenschaften von Unterstützungsmaßnahmen relevant sind, um SRL durch Experimentieren zu fördern.

Um eine angemessene Unterstützungsmaßnahme ausmachen zu können, ist es wichtig die Anforderungen und Probleme des SRL durch Experimentieren zu kennen. Sie werden deshalb in dieser Arbeit zusammengetragen. Hauptproblem ist eine nicht vorhandene oder fehlerhafte Strategienutzung (Azevedo et al., 2004a; de Jong & van Joolingen, 1998; Klahr & Dunbar, 1988; Lin & Lehman, 1999). Notwendig und somit ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, worin die Ursache der fehlerhaften oder nicht vorhandenen Strategienutzung liegt. Eine Frage hierbei ist, ob überhaupt ausreichendes Strategiewissen vorliegt, so dass es zu einer angemessenen Strategienutzung kommen kann.

Mit dem SRL durch Experimentieren beschäftigen sich auch die konstruktivistischen Ansätze zum ‚scientific discovery learning‘ (de Jong & van Joolingen, 1998; Dunbar, 1993; Klahr & Dunbar, 1988; Klahr, Fay & Dunbar, 1993; Kuhn, Black, Keselman & Kaplan, 2000; van Joolingen & de Jong, 1991, 1993, 1997; Vollmeyer & Burns, 1996; White & Frederiksen, 1998). Untersucht werden diese Ansätze meist mit computerbasierten Lernumgebungen. Die Lernenden können dabei selbstständig Experimente am Computer simulieren, indem sie Variablen auswählen, verändern und resultierende Ergebnisse beobachten können. Diese Methode, um SRL durch

Experimentieren zu untersuchen, wird auch im empirischen Teil dieser Arbeit gewählt. Ein Vorteil ist hierbei die technische Möglichkeit, Unterstützungsmaßnahmen individuell an das Lernerverhalten anzupassen. Diese Adaptivität von Unterstützungsmaßnahmen wird vielfach gewünscht, aber noch nicht häufig umgesetzt (Azevedo et al., 2004a; de Jong, 2005; Mandl, Gruber & Renkl, 1997).

Diese Arbeit nutzt die technischen Möglichkeiten und hat das Ziel, die vielfach postulierten positiven Effekte von adaptiven Unterstützungsmaßnahmen empirisch zu überprüfen.

Eine umfangreich untersuchte und adaptiv gestaltbare Unterstützungsmaßnahme, Lernen zu vereinfachen und zu fördern, ist Feedback. Feedback ist ein essentielles Element von Lerntheorien und auch heute noch ein bedeutsamer Aspekt in der Instruktionspsychologie (vgl. Mory, 2004). Hattie und Timperley (2007, S. 81) sprechen von der „power of feedback to improve teaching and learning“. Hannafin, McDermott Hannafin und Dalton (1993) halten fest: „The role of feedback is to clarify, strengthen, or extend knowledge, skills, or beliefs.“ (S. 264).

In dieser Arbeit sollen diese Möglichkeiten von Feedback genutzt werden, um SRL durch Experimentieren zu unterstützen. Deshalb findet im theoretischen Teil eine Integration von Aspekten und Befunden der Feedbackforschung und Modellen zum SRL statt. Es wird entsprechend eine adäquate Form von Feedback, um SRL durch Experimentieren zu unterstützen, theoretisch begründet. Anschließend wird empirisch überprüft, ob diese das strategische Vorgehen beim SRL durch Experimentieren und somit den Lernerfolg dieser Lernform noch stärker fördern kann als nicht-adaptive und adaptive Formen der Unterstützung ohne Rückmeldung an den Lerner.

Ausblick

Im theoretischen Teil dieser Arbeit wird in Kapitel 2 zunächst auf das selbstregulierte Lernen im Allgemeinen eingegangen. Nach dieser Begriffsbestimmung und der Darstellung der für diese Arbeit relevanten Aspekte des selbstregulierten Lernens, folgt in Kapitel 3 die Beschreibung der Besonderheiten des SRL durch Experimentieren. Die bisherige Forschungslage, die gezeigt hat, dass es bei dieser Form des Lernens häufig zu Fehlern und Schwierigkeiten kommt, wird anschließend in Kapitel 4 beleuchtet. Es wird aufgezeigt, dass dieser vielversprechende Ansatz zu wenig Lernerfolg führt, wenn er nicht zusätzlich von außen instruktional unterstützt wird. Auf diese externen Unterstützungsmöglichkeiten wird deshalb in Kapitel 5 eingegangen werden. Es werden

verschiedene Unterstützungsansätze und die aktuelle Forschungslage dazu dargestellt. Dabei wird theoretisch begründet, welche Prozesse besonders unterstützt werden sollten und welche Eigenschaften von Unterstützung besonders relevant sind. Im Besonderen wird auf die Möglichkeit, externes Feedback als adaptive Unterstützung einzusetzen, eingegangen. Entsprechend wird die Feedbackforschung näher betrachtet und in Zusammenhang mit den Modellen des SRL gebracht.

Am Ende des theoretischen Teils folgen in Kapitel 6, hergeleitet aus den vorherigen Kapiteln, die zu untersuchenden Fragestellungen und Hypothesen, die dann im empirischen Teil der Arbeit bearbeitet werden.

Der empirische Teil beginnt in Kapitel 7 mit der Darstellung der verwendeten computerbasierten Lernumgebungen. Um die Forschungsfragen beantworten zu können, wurden diese computerbasierte Lernumgebungen zum Experimentieren entwickelt. In Kapitel 8 geht es um die eingesetzten strategiebezogenen Maße. Die verhaltensbasierten Maße der Strategienutzung werden dargestellt sowie die Entwicklung und Evaluation eines Tests zur Erfassung des Wissens über Experimentierstrategien. Kapitel 9 beschreibt dann eine durchgeführte Studie, die Hinweise dazu liefern soll, welches Defizit (vgl. Kapitel 4) verantwortlich für die mangelhafte Strategienutzung von Schülern ist. Die Darstellung der Interventionsstudie, in der Feedback gegenüber anderen Formen adaptiver und nicht adaptiver Unterstützung beim SRL durch Experimentieren untersucht wird, folgt dann in Kapitel 10. Zum Ende der Arbeit in Kapitel 11 werden die Ergebnisse dieser Arbeit in ihrer Gesamtheit diskutiert und ein abschließendes Fazit aus dieser Arbeit gezogen.

2. Selbstreguliertes Lernen (SRL)

Wie in der Einleitung beschrieben, geht es in dieser Arbeit darum, eine bestimmte Form des Lernens, nämlich das selbstregulierte Lernen durch Experimentieren, und dafür geeignete Unterstützungsmaßnahmen zu untersuchen. In diesem Kapitel wird zunächst erläutert, was allgemein unter selbstreguliertem Lernen (SRL) zu verstehen ist. Hierzu werden die für diese Arbeit relevanten theoretischen Modelle des SRL kurz dargestellt (für einen ausführlicheren Überblick über die existierenden Modelle siehe Thillmann, 2008).

Seit Beginn der 1980er Jahre existieren Forschung und theoretische Modelle zum SRL. Dabei fallen neben dem Begriff *selbstreguliertes Lernen* auch häufig Begriffe wie *selbstgesteuertes Lernen*, *autonomes Lernen* oder *selbstorganisiertes Lernen* (Götz, 2006; Schreiber, 1998), die zum Teil synonym verwendet werden, beziehungsweise nicht trennscharf voneinander abgegrenzt werden. Unterschiede, die hinter den Begrifflichkeiten liegen, werden unter anderem bei Künsting (2007) beschrieben. Wie die Begriffe schon erkennen lassen, wird bei dieser Art des Lernens der Lerner selbst als derjenige, der bewusst seinen eigenen Lernprozess gestaltet, in den Mittelpunkt gestellt. Damit ist eine klare Abgrenzung zu fremdreguliertem Lernen vorhanden.

Diese Aspekte werden in den verschiedenen Modellen zum SRL aufgegriffen, so nennen Leutner und Leopold (2002) folgende vier Gemeinsamkeiten dieser Modelle: 1. Lerner werden als aktive Gestalter ihres eigenen Lernprozesses gesehen, 2. es finden metakognitive Überwachungs-, Kontroll- und Regulationsprozesse per selbstbezogener Rückmeldungsschleife statt, 3. das Lernen ist auf ein bestimmtes Lernziel (Sollzustand) hin ausgerichtet, 4. die Selbstregulationsprozesse sind Vermittler zwischen den Merkmalen der Individuen und des Kontextes und dem aktuellen Lernerfolg.

Einige Modelle zum SRL fokussieren besonders auf die Lernervoraussetzungen zum SRL (vgl. Boekaerts, 1997, 1999; Friedrich & Mandl, 1992; Pintrich, 1999, 2000; Weinstein & Mayer, 1986), diese werden auch als Komponentenmodelle des SRL bezeichnet (vgl. Übersicht bei Thillmann, 2008). Andere Modelle betonen eher den prozessualen Charakter des SRL und werden somit als Prozessmodelle bezeichnet (z.B. Pressley, Borkowski & Schneider, 1987, 1989; Schunk & Zimmerman, 1994; Winne & Hadwin, 1998; Zimmerman, 1989, 2000).

Als theoretische Grundlage dieser Arbeit wird im Folgenden auf das Modell von Schreiber (1998), das Modell von Pressley et al. (1987, 1989) und vor allem auf das Modell von Winne und Hadwin (1998, vgl. auch Butler & Winne, 1995) eingegangen. Da diese

Modelle die Prozesse der metakognitiven Überwachung und Kontrolle besonders verdeutlichen und deren Bedeutung für die Optimierung des SRL hervorheben, eignen sie sich, um mögliche Unterstützungsansätze herauszuarbeiten. Schreiber (1998) definiert SRL so: „Lernen kann dann als selbstreguliert beschrieben werden, wenn der Lerner seine Lernhandlung ‚selbst reguliert‘, d.h. unter Einbeziehung von Informationen über seinen augenblicklichen Ist-Zustand Maßnahmen ergreift, die sein Lernen auf einen Soll-Zustand ausrichten“ (S. 12). In Schreibers Selbstregulationsmodell (1998) wird der Prozess des selbstregulierten Lernens in Anlehnung an Banduras (1986) sozial-kognitive Theorie und den dort beschriebenen vier Teilprozessen der Selbstregulation wie folgt dargestellt: Der Lernende hat die Aufgabe sich Lernziele zu setzen, dazu die passenden Strategien auszuwählen und zielgerichtet anzuwenden, dieses und die Resultate daraus zu beobachten, hinsichtlich des Soll-Zustandes zu bewerten und bei Diskrepanzen mit entsprechenden Strategien zu reagieren. Ein Ist-Soll-Vergleich und eine effektive Reaktion darauf sind nur möglich, wenn der Lerner selbst seinen Lernprozess kontinuierlich überwacht und beobachtet, denn so erhält er die notwendige Rückmeldung über sein aktuelles Lernen. Der Lerner nutzt entsprechende Regulationsstrategien, um seinen Strategieeinsatz und so seinen Lernprozess zu optimieren (siehe auch Abschnitt 2.1). Auch im *Good Strategy User* (GSU)-Modell von Pressley et al. (1987, 1989) ist der Strategieeinsatz entscheidend für den Prozess des SRL. Die Autoren betonen hierbei besonders die interagierende Beziehung zwischen Strategiewissen und Strategienutzung (siehe auch Abschnitt 2.2), durch die die Entwicklung des SRL vorangetrieben wird. Zu einer effektiven Strategienutzung kann es kommen, wenn bereichsspezifisches Wissen, Strategiewissen, metakognitive Kontrolle und motivationale Überzeugungen in angemessener Weise aufeinander abgestimmt werden. Diese Aspekte sind auch im Prozessmodell von Winne und Hadwin (1998, vgl. auch Butler & Winne, 1995) enthalten. Butler und Winne (1995) beschreiben SRL als einen bewussten, wohlüberlegten, beurteilenden und adaptiven Prozess. Selbstregulierte Lerner haben Wissen über ihr Wissen, ihre Überzeugungen, ihre Motivation und ihre kognitiven Prozesse. Dieses Wissen wird immer wieder überarbeitet und angepasst (Butler & Winne, 1995). Es hilft dem Lerner zu beurteilen, wie gut das Ausmaß an eingesetzter kognitiver Anstrengung mit den selbst gesetzten Standards für erfolgreiches Lernen zusammenpasst. Im Modell von Winne und Hadwin (1998) werden vier Phasen des Lernprozesses beschrieben: (1) Definieren der Aufgabe, also die Lerner-Wahrnehmung der Aufgabe und der Aufgabenbedingungen, (2) Zielsetzung und Planung, der Lerner setzt sich Lernziele und plant, wie er diese erreichen kann, (3) Ausführen von Strategien und Taktiken, um

diese Lernziele zu erreichen, (4) metakognitive Prozesse, die genutzt werden um Strategien anzupassen und das Strategiewissen zu erweitern. Diese Phasen sind nicht als streng sequenziell zu verstehen, sondern als zyklischer Prozessverlauf, bei dem es zu Wechselwirkungen der Phasen untereinander kommt. In jeder Phase kann eine Anpassung notwendig sein und vorgenommen werden. Betont werden hierbei die internen und externen Feedbackinformationen, die eine Regulation und Anpassung erst möglich machen. Dabei ist das Monitoring, also das Selbstüberwachen, der entscheidende Prozess beim SRL (Butler & Winne, 1995; Lan, 1998; Winne, 1996). Beim Monitoring gewinnt der Lerner Informationen über die gegenwärtige Situation, diese Informationen werden zusammengebracht mit Informationen zum gewünschten Zielzustand. Lerner können so Diskrepanzen zwischen Ist- und Soll-Zustand erkennen. Das Monitoring führt einerseits also dazu, den Fortschritt bei einer Aufgabe zu bewerten, andererseits hilft es bei der Steuerung, welche weiteren strategischen Entscheidungen zu treffen sind (vgl. Winne, 1996). Nach Lan (1998) stimmen Forscher mit unterschiedlichen theoretischen Modellen in der Bedeutsamkeit des Monitoring für den selbstregulierten Lernprozess überein. So heißt es auch bei Schreiber (1998; S. 46): „Der Selbstbeobachtung wird eine informierende und motivierende Funktion zu gesprochen. Sie hat eine besondere Bedeutung im Rahmen der Selbstregulation.“ Erfolgreiche Lerner regulieren ihr Lernen, indem sie signifikant mehr metakognitives Monitoring betreiben und mehr Strategien benutzen (Azevedo, 2005). Gute metakognitive Fähigkeiten, wie adäquates Monitoring, fördern den Lernprozess und somit die Lernergebnisse (vgl. Azevedo et al., 2004a; Lan, Bradley & Parr, 1993; Veenman, Elshout & Meyer, 1997).

Die Informationen über den Ist-Zustand resultieren beim Monitoring meist aus internem Feedback, das bedeutet, der Lerner generiert sich selbst Feedback. Abbildung 2.1 zeigt die Wege des internen Feedbacks nach Butler und Winne (1995). Der Lerner beurteilt seinen Erfolg bezüglich der gesetzten Ziele. Die Strategien und Taktiken werden auf ihre Effektivität hin beurteilt und es kommt zu einer affektiven Reaktion über diese Urteile (Butler & Winne, 1995). Die subjektiven Repräsentationen der Aufgabenanforderungen werden neu überdacht, die Ziele gegebenenfalls revidiert und /oder die Strategien angepasst. So sorgt kontinuierliches Monitoring dafür, falschen Illusionen über das gegenwärtige Verständnis vorzubeugen (Chi, Bassok, Lewis, Reimann & Glaser, 1989). Selbstbeobachten und Selbsteinschätzen, also der Monitoring-Prozess, stellen allerdings hohe Anforderungen an den Lerner und können Schwierigkeiten bereiten, so dass internes Feedback auch inadäquate Informationen liefern kann. Wenn eine Diskrepanz zwischen

der gegenwärtigen und gewünschten Leistung vorliegt oder Schwierigkeiten bestehen, sich selbst angemessenes Feedback zu geben, suchen selbstregulierte Lerner auch Feedback von außen, sogenanntes externes Feedback (siehe hierzu Abschnitt 5.3.2).

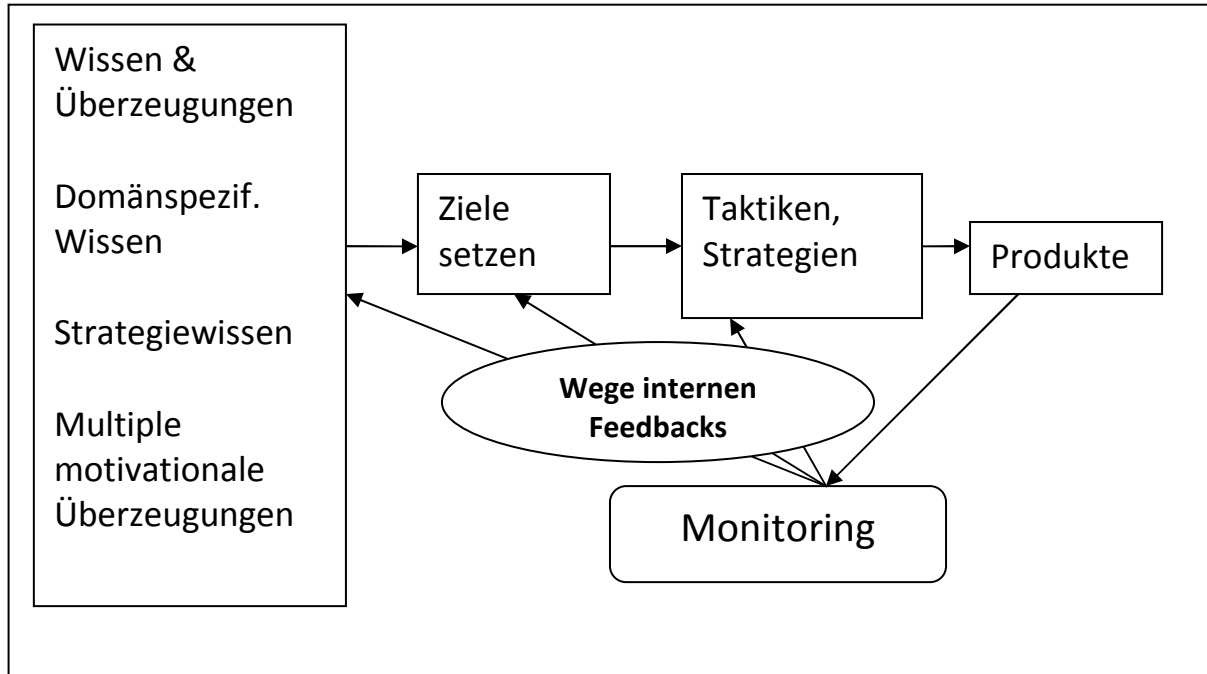


Abbildung 2.1: Wege internen Feedbacks beim Prozess des SRL

Die Aufgabe und Bedeutung des Monitorings lässt sich an einem Beispiel verdeutlichen. Wenn ein Schüler für eine Klausur beispielsweise etwas über die Relativitätstheorie lernen muss, setzt er sich vielleicht das Ziel die Relativitätstheorie gut zu verstehen, um die Klausur zu bestehen. Zunächst wählt er deshalb die Strategie, das Kapitel zur Relativitätstheorie aus dem Lehrbuch zu lesen. Schon während des Lesens und danach, sollte der Schüler sich selbst fragen, ob er das, was er liest, versteht, er betreibt also Monitoring. Stellt er als Resultat des Monitorings fest, dass das Verständnis noch nicht ausreichend ist, um die Klausur zu bestehen, entscheidet er vielleicht seine Strategie zu wechseln und einen Mitschüler zu bitten, ihm die Relativitätstheorie zu erklären. Es kann aber auch der Fall eintreten, dass der Lerner selbst nicht richtig einschätzen kann, ob er die Relativitätstheorie richtig verstanden hat. Dann hat er Probleme, sich selbst angemessenes internes Feedback zu geben. Als Resultat dieses „schlechten“ Monitorings lernt er nicht weiter, weil er meint, sein Wissen reiche aus. Es kann dann dazu kommen, dass er die Klausur nicht besteht, also dass er das Ziel nicht erreicht. Eine Probeklausur mitzuschreiben, die der Lehrer korrigiert zurückgibt, könnte von außen Rückmeldung geben, dass die Relativitätstheorie noch nicht gut genug verstanden wurde, um die Klausur

zu bestehen. In diesem Fall nutzt der Schüler externes Feedback, um sein internes Feedback zu korrigieren. Das Resultat aus dem Monitoring würde dieses Mal dann dazu führen, dass der Schüler sich weitere Strategien überlegt und durchführt, um sein Ziel zu erreichen.

Alle aufgeführten Modelle des SRL sprechen von Strategien, die der Lerner auswählen, anwenden, überwachen, bewerten und entsprechend anpassen muss. Dabei gibt es Strategien, die für alle Formen des SRL relevant sind und Strategien, die für bestimmte Formen des SRL spezifisch sind. Das folgende Unterkapitel 2.1 befasst sich ausführlicher mit diesen sogenannten übergeordneten und untergeordneten Strategien. Für erfolgreiches SRL, bei dem verschiedene Anforderungen von Lernaufgaben auf den Lerner zukommen, ist es notwendig, über unterschiedliche Strategien zu verfügen (Corno, 1989; Schiefele & Pekrun, 1996). Das bedeutet Lerner müssen sowohl Wissen über die Strategien besitzen als auch dieses Wissen nutzen, sprich anwenden. Unterkapitel 2.2 beschäftigt sich deshalb mit dem Strategiewissen und der Strategienutzung und deren Zusammenspiel.

2.1 Übergeordnete und untergeordnete Strategien beim SRL

Nach Klauer (1988) sind Strategien auf ein zuvor festgelegtes Ziel hin ausgerichtete Handlungssequenzen. Vergleichbar mit dieser Aussage ist die allgemeine Definition von Lernstrategien nach Wild (2000) in Ahnlehnung an Weinstein und Mayer (1986). Hier werden unter Lernstrategien Verhaltensweisen und Kognitionen verstanden, die Lerner mit der Absicht einsetzen, ihren Wissenserwerb zu beeinflussen. Etwas ausführlicher definieren Wild, Hofer und Pekrun (2006, zitiert nach Niegemann, 2008a) Lernstrategien als „[...] mental repräsentierte Schemata oder Handlungspläne zur Steuerung des eigenen Lernverhaltens [...], die sich aus einzelnen Handlungssequenzen zusammensetzen und situationsspezifisch abrufbar sind. Zum anderen sind Lernstrategien Sequenzen von Handlungen, mit denen ein bestimmtes Lernziel erreicht werden soll“ (S. 245).

In der Literatur existieren verschiedene Kategorisierungen für Lernstrategien. Zu den bekanntesten Kategorisierungen zählt diejenige, die auf der kognitionspsychologisch begründeten Lernstrategiekonzeption von Weinstein und Mayer (1986) basiert. Hier werden kognitive Strategien, metakognitive Strategien und motivational-emotionale Stützstrategien unterschieden. Andere Autoren haben diese Unterscheidung aufgegriffen (vgl. Pintrich & Garcia, 1994; Wild, Schiefele & Winteler, 1992; Wild, 2000). Im Folgenden wird kurz beschrieben, was unter diesen drei Strategiearten zu verstehen ist.

Kognitive Lernstrategien beziehen sich direkt auf den Lernstoff beziehungsweise auf dessen Verarbeitung und führen direkt zu einer Veränderung der kognitiven Strukturen und Prozesse. Nach Dansereau (1985) werden diese Strategien auch als *Primärstrategien* bezeichnet. Es handelt sich also um Informationsverarbeitungsstrategien, die der Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung von Informationen dienen (Bannert, 2007; Niegemann, 2008a; Pintrich, Smith, Garcia & McKeachie, 1991; Weinstein & Mayer, 1986; Wild, 2000), beziehungsweise dem Transfer des Gelernten auf neue Bereiche (Schreiber, 1998). Nach Weinstein und Mayer (1986) werden kognitive Strategien weiter unterteilt in Wiederholungs- / Memorierungsstrategien (z.B. Auswendiglernen), Elaborationsstrategien (z.B. Paraphrasieren) und Organisationsstrategien (z.B. Erstellen von Diagrammen). Konkrete kognitive Strategien sind abhängig von der Art des Lernens beziehungsweise des Lernmaterials. So ist zum Beispiel beim Lernen mit Texten die Markierungsstrategie eine kognitive Strategie. Für andere Lernformen, wie das Lernen durch Experimentieren, kann das Hypothesen Bilden und Hypothesen Testen eine angemessene kognitive Strategie sein. Insofern finden sich unter den kognitiven Strategien eine Vielzahl unterschiedlichster kognitiver Prozeduren und Verhaltensweisen, die spezifisch für die Aufnahme und Verarbeitung der jeweiligen Inhalte beziehungsweise Lernaufgaben sind.

Metakognitive Strategien sind Strategien zur Planung, Kontrolle beziehungsweise Überwachung und Regulation des eigenen Lernens (Bannert, 2007; Weinstein & Mayer, 1986; Wild, 2000). Eine systematische Planung, ständige Überwachung und Evaluation und daraus resultierende Regulation des Lernens sind metakognitive Aktivitäten, die Lerner nutzen, um ihre kognitiven Prozesse zu überwachen und zu steuern (Brown, 1978, 1984; Ertmer & Newby, 1996; Friedrich & Mandl, 1992; Schraw, 1998; Wild & Schiefele, 1994). Metakognitive Strategien sorgen folglich dafür, welche kognitiven Strategien ausgewählt werden. Das geschieht, indem bei der Planung Aufgabenanforderungen und erforderliche Ressourcen eingeschätzt und Lernziele formuliert werden sowie indem Vorwissen aktiviert wird. Bei der Überwachung (dem Monitoring) und Evaluation werden die angewandten kognitiven Strategien beobachtet und danach bewertet, ob sie zu dem gewünschten Ziel geführt haben, zudem wird das Verständnis überprüft. Die Regulation der Strategien sorgt bei Schwierigkeiten und ausbleibendem Erfolg dafür, dass kognitive Strategien angepasst beziehungsweise verändert werden. Zwischen diesen einzelnen Schritten bestehen Wechselwirkungen.

Metakognitive Strategien sind als Selbstregulations- und Selbstkontrollstrategien folglich den kognitiven Strategien übergeordnet, da sie deren Einsatz planen, überwachen, bewerten und regulieren. Klauer (1988) bezeichnet metakognitive Strategien als situationsübergreifend und global und auch Veenman et al. (1997) sowie Schraw (1998) sprechen von ihrer Einsetzbarkeit über Aufgabenarten und Inhaltsbereiche hinweg. Insofern sind sie nicht wie kognitive Strategien spezifisch für bestimmte Aufgaben oder Lernmaterialien, sondern entscheidend für alle Formen des SRL.

Motivational-emotionale oder *ressourcenbezogene Strategien*, die auch als *Sekundär-* oder *Stützstrategien* (Dansereau, 1985) bezeichnet werden, sorgen für günstige interne und externe Lernumgebungen und sind folglich zuständig für optimale Rahmenbedingungen des Lernens (Dansereau, 1985; Danserau et al., 1979; Friedrich & Mandl, 1992; Pintrich et al., 1991; Wild & Schiefele, 1993; Wild, Schiefele & Winteler, 1992). Es sind Strategien, die der Lerner anwendet, um sich selbst zu motivieren und seine Aufmerksamkeit und Ausdauer aufrechtzuerhalten. Die Gestaltung des Lernortes gehört ebenso dazu wie eine effektive Zeitplanung oder dafür zu sorgen, dass man sich in einem lernförderlichen Zustand befindet. Wie bei anderen Formen des Lernens sind auch beim SRL motivational-emotionale Bedingungen, wie zum Beispiel eine hohe Selbstwirksamkeit, eine hohe Lernzielorientierung, eine hohe intrinsische Motivation oder ein hohes Aufgabeninteresse, nicht zu vernachlässigen, wenn der Lernprozess erfolgreich sein soll. So kann man die Selbstregulation beziehungsweise den Gebrauch von kognitiven und metakognitiven Strategien durch das Fördern günstiger motivationaler Überzeugungen stärken (Hofer, Yu & Pintrich, 1998). Einfluss nimmt auch die situationsspezifische aktuelle Motivation des Lernenden, diese korreliert positiv mit der Nutzung von Strategien und Lernerfolg (Vollmeyer & Rheinberg, 1998, 1999). Es ist folglich bedeutsam, die Motivation beim SRL zu berücksichtigen und über Strategien zu verfügen, die diese regulieren.

Neben dieser Klassifikation nach Weinstein und Mayer (1986) bietet sich für diese Arbeit die Klassifikation nach Schreiber (1998) an. In ihrem Modell beschreibt sie SRL als Prozess, in dem *untergeordnete* Strategien die Lehrfunktionen nach Klauer (1988), Motivation, Information, Informationsverarbeitung, Speichern und Abruf sowie Transfer, erfüllen, und *übergeordnete* Regulationsstrategien den Einsatz dieser untergeordneten Strategien regulieren. Zu den untergeordneten Strategien zählt sie also spezifische Strategien, die den genannten Lehrfunktionen dienen, wohingegen zu den übergeordneten Strategien die Selbstregulationsprozesse Ziele setzen, Selbstbeobachten, Selbsteinschätzen und Reagieren nach Bandura (1986) gehören. Entsprechend lassen sich metakognitive

Strategien als *übergeordnete* und kognitive Strategien als *untergeordnete* Strategien betrachten, wenn man unter metakognitiven Strategien die Planung, Kontrolle und Steuerung des kognitiven Strategieeinsatzes versteht (vgl. Winter, 1992). Wild (2000; S. 58) macht diesen Unterscheid zwischen kognitiven und metakognitiven Strategien deutlich: „Der Begriff der kognitiven Lernstrategien bezieht sich ausschließlich auf solche Prozeduren, die unmittelbar mit der Aufnahme und Verarbeitung der Inhalte verknüpft sind. Metakognitive Lernstrategien beziehen sich im Unterschied dazu auf Prozeduren der Handlungssteuerung, die der eigentlichen Informationsverarbeitung vorgelagert sind.“ Dabei wirken übergeordnete metakognitive Strategien vor allem unterstützend bei komplexen Anforderungen, die nicht automatisiert bewältigt werden können (Winter, 1992).

Wirksamkeit von Lernstrategien

Verschiedene Studien konnten die Wirksamkeit der Nutzung von angemessenen kognitiven und metakognitiven Lernstrategien auf den Lernerfolg nachweisen (Artelt, 1999, 2000; Brown, 1978; Friedrich, 1995; Krapp, 1993; Leutner & Leopold, 2006; Pressley et al., 1987; Weinert & Kluwe, 1984; Weinstein, Husman & Dierking, 2000; Weinstein & Mayer, 1986; Wild, 2000). Dabei zeigte sich, dass eine verhaltensnahe Lernstrategieerfassung durch eine höhere Validität entsprechend höhere Zusammenhänge mit dem Lernerfolg aufweist. Artelt und Schellhas (1996) weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass es problematisch ist, Lernstrategienutzung über Fragebögen zu erfassen, deren Items zu handlungsfern und allgemein formuliert sein könnten. Des Weiteren ist die Frage, welche Kriterien für Lernerfolg benutzt werden, allgemeine Schul- und Studienleistungen sind möglicherweise nicht immer geeignet (Artelt, 1999). So ist es auf der anderen Seite nicht verwunderlich, dass andere Studien keine nennenswerten Korrelationen zwischen Lernstrategien und Studienbeziehungswise Lernerfolg zeigen konnten (Baumert, 1993; Pintrich, 1989; Pintrich et al., 1991; Pintrich & Garcia, 1993; Schiefele, Wild & Winteler, 1995; Schmeck & Grove, 1979). Nach Artelt (1999) sollten deshalb Lernstrategien möglichst handlungsnah erfasst werden, zudem sollte eine Passung zwischen Lernstrategie- und Lernerfolgsmaßen vorliegen, um die Wirkung von Lernstrategien beurteilen zu können. Für ein besseres Verständnis und eine differenziertere Betrachtung der zum Teil widersprüchlichen Ergebnisse ist es ratsam, nicht von der Erfassung von Lernstrategien zu sprechen, sondern zwischen Wissen über Lernstrategien und Nutzung von Lernstrategien zu unterscheiden.

Mit handlungsnahen Methoden (Verhaltensbeobachtung etc.) wird Lernstrategienutzung erfasst, während man über andere Methoden (wie Tests) das Lernstrategiewissen erfasst. Wie Nutzung und Wissen von Lernstrategien zusammenhängen und dass hohes Strategiewissen nicht in der tatsächlichen Strategienutzung resultieren muss, wird im nachfolgenden Abschnitt erläutert.

2.2 Strategiewissen und Strategienutzung

„Strategiewissen ist keine hinreichende Bedingung für die Nutzung von Lernstrategien.“, heißt es bei Baumert (1993, S. 336). Wenn Strategiewissen auch keine hinreichende Bedingung ist, so ist es doch eine notwendige für die Strategienutzung. So beschreibt unter anderem das GSU-Modell von Pressley et al. (1987,1989), dass das Wissen über die eben beschriebenen Strategien ebenso eine zentrale Bedeutung beim SRL besitzt wie ihre Nutzung, denn beides ist wechselseitig miteinander verknüpft. Der Prozess des SRL beginnt nach diesem Modell mit der Verfügbarkeit von Strategiewissen, welches in der Auswahl adäquater Strategien und in ihrer zielgerichteten Nutzung resultiert, und führt wieder zurück zum verfügbaren Strategiewissen, welches durch die Erfahrungen mit der Nutzung erweitert wird. Auch Winne und Hadwins Modell (1998, vgl. auch Thillmann, 2008) greift dieses in der vierten Phase „Erweiterung des Strategiewissens“ auf. Die Autoren konzipieren Strategien als *if-then-else*-Verbindungen, wobei das *if* die Bedingungen für den Einsatz von Strategien darstellt, *then* die optimalen Strategien und *else* die Alternativ-Strategien. Das Wissen über Strategien erweitert sich nun, wenn durch den Gebrauch von Strategien, *if* -Teile neu hinzukommen, entfernt oder verändert werden oder neue Verbindungen zwischen diesen Bedingungen und den *then* und *else* Verhaltensweisen entstehen.

Im Bereich des SRL unterteilen Paris, Lipson und Wixson (1983) Strategiewissen in deklaratives, prozedurales und konditionales Strategiewissen. Deklaratives Wissen umfasst Wissen über Eigenschaften von Strategien, passende Anforderungsmerkmale von Aufgaben und strategiebezogene Merkmale der Person. Prozedurales Wissen bezeichnet dagegen das Wissen, wie diese Strategien ausgeführt werden. Davon ist die tatsächliche Strategiewissensausführung zu unterscheiden, die nicht automatisch daraus folgt. Wissen darüber, wann und warum eine Strategie sinnvoll ist, liefert das konditionale Wissen, also das Wissen über die Bedingungen.

Nach Pressley et al. (1987, 1989) kann man spezifisches, relationales und allgemeines Strategiewissen unterscheiden. Als spezifisches Wissen wird das am Anfang stehende Strategiewissen, nämlich Wissen über Effektivität und Anwendungsmöglichkeiten spezifischer Strategien, bezeichnet. Das relationale Strategiewissen entwickelt sich dann durch Vergleiche der Strategien und ist definiert als Wissen darüber, worin sich Strategien und die dazugehörigen Anwendungsgebiete gleichen und unterscheiden. Generelles Strategiewissen entsteht im Laufe der gemachten positiven Erfahrungen mit Strategien und umfasst die Überzeugung, dass Strategien generell nützlich sind.

Unabhängig von den einzelnen Unterteilungen, die sich unterscheiden mögen, wird strategisches Wissen einheitlich als Basis und Resultat von strategischem Handeln gesehen. Dieses metakognitive Wissen ist eine Voraussetzung, dafür dass die Regulation des eigenen Lernens wie Planung, Kontrolle und Steuerung stattfinden kann. Somit ist klar, dass die Qualität der Strategienutzung beim SRL abhängig ist von allen Formen strategischen Wissens. Dennoch ist es wichtig, die erste Aussage dieses Abschnitts zu betonen, dass Strategiewissen zwar eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für erfolgreiche Strategienutzung ist (Friedrich & Mandl, 2006). Eine reine Verfügbarkeit von Strategiewissen resultiert nicht automatisch in entsprechender Strategienutzung (vgl. Brown & DeLoache, 1978; Flavell, 1976; Mayer, 1992; Pintrich & De Groot, 1990; Veenman, Kerseboom & Imthorn, 2000). Vielmehr moderieren nach Pressley et al. (1987, 1989) motivationale Faktoren (vgl. Thillmann, 2008), inhaltliches Wissen (vgl. Pressley, 1995) und metakognitive Kontrolle (vgl. Bannert, 2007) die Beziehung zwischen Wissen und Nutzung. Auch Hasselhorn (1992, 1995b) betont bei diesem Zusammenhang mediierende und moderierende Variablen und nennt als diese ebenfalls motivationale Faktoren und bereichsspezifisches Vorwissen sowie Aufgabenschwierigkeit. Aus diesem komplexen Zusammenhang zwischen Strategiewissen und Strategienutzung lassen sich auch Ursachen für unterschiedliche Schwierigkeiten beziehungsweise Defizite, die Lerner beim SRL aufweisen können, herleiten. Auf diese wird in Kapitel 4 dieser Arbeit eingegangen.

2.3 Fazit

SRL bedeutet für den Lerner, dass er für seinen Lernprozess selbst verantwortlich ist. Er muss ihn eigenständig kontrollieren und steuern. Dazu gehört sein eigenes Lernen zu planen, es zu beobachten und zu überwachen, damit es bezüglich des Erfolgs bewertet und

entsprechend reguliert werden kann. Diese Phasen des Lernprozesses werden unter anderem in Schreibers (1998) und in Winne und Hadwins (1998) Modell des SRL beschrieben. Die Phasen des SRL verlaufen eher zyklisch als sequenziell und interagieren miteinander, so dass eine ständige Anpassung des Lernprozesses möglich ist. Von besonderer Bedeutung ist hierbei das Monitoring, da hier der Lernprozess stetig überwacht wird. Nur so kann bei Schwierigkeiten oder ausbleibendem Erfolg mit einer entsprechenden Veränderung des Verhaltens reagiert werden. Die Bedeutung des Monitoring und des internen Feedbacks, das dadurch entsteht, ist besonders anschaulich bei Butler und Winne (1995) beschrieben worden. Internes Feedback wird dabei vom Lerner selbst generiert, diese Feedbackinformationen machen das Monitoring und somit die Regulation des Lernens erst möglich. Sich eigene Rückmeldung zu geben und sein Lernen zu überwachen, stellt hohe Anforderungen an den Lerner. So kann es auch zu inadäquatem Monitoring kommen, hier können externe Feedbackinformationen hilfreich sein.

Des Weiteren betonen die beschriebenen Modelle, ebenso wie das GSU-Modell von Pressley et al. (1987, 1989), die Bedeutung der Strategien, die der Lerner auswählt, anwendet, überwacht und steuert. Dieses Kapitel hat die Unterscheidung von Schreiber (1998) in untergeordnete Strategien und übergeordnete Regulationsstrategien aufgegriffen. Es wurde verdeutlicht, dass spezifische kognitive Strategien, die sich direkt auf den Lernstoff beziehen und der Informationsaufnahme und -verarbeitung dienen, den metakognitiven Strategien, die den Einsatz dieser kognitiven Strategien planen, überwachen, bewerten und regulieren, untergeordnet werden können. Während metakognitive Strategien als globale Strategien verstanden werden können, die über verschiedenste Aufgabenarten hinweg einsetzbar sind (Klauer, 1988; Schraw, 1998; Veenman et al., 1997), gibt es für bestimmte Aufgabenarten oder Lernmaterialien jeweils spezifische kognitive Strategien. Neben diesen Strategien sind außerdem Strategien relevant, die für günstige Rahmenbedingungen des Lernens sorgen, zum Beispiel Strategien, die die Motivation aufrechterhalten. Wenn Strategienutzung verhaltensnah erfasst wird und angemessene Lernerfolgsmaße gewählt werden, zeigen sich positive Zusammenhänge zwischen Lernstrategienutzung und Lernerfolg (Artelt, 1999). Wobei man bei der Operationalisierung von Lernstrategien zwischen dem Wissen über Strategien und der Strategienutzung unterscheiden sollte. Zwar ist das Strategiewissen eine notwendige Voraussetzung für die Strategienutzung, aber das Wissen resultiert nicht automatisch in der Nutzung. Vor allem das GSU-Modell hebt die wechselseitige

Beziehung zwischen Strategiewissen und -nutzung hervor und macht deutlich, dass Strategiewissen sowohl Grundlage als auch Ergebnis der Strategienutzung ist. Die Qualität der Strategienutzung ist abhängig von allen Formen strategischen Wissens. Damit ein umfangreiches Strategiewissen auch in angemessener Strategienutzung resultiert, sind allerdings mögliche moderierende Variablen, wie die Motivation, das Vorwissen, die metakognitive Kontrolle sowie die Aufgabenschwierigkeit zu beachten (Hasselhorn, 1992,1995; Pressley et al., 1987, 1989).

3. SRL durch Experimentieren

Nachdem im vorherigen Kapitel SRL allgemein beschrieben wurde, behandelt dieses Kapitel nun eine spezielle Form des SRL, nämlich das SRL durch Experimentieren. Untersucht wird es häufig mit computerbasierten Lernumgebungen. SRL durch Experimentieren ist eine Form des SRL mit dynamisch-interaktivem Lernmaterial und ist abzugrenzen von SRL mit statischem Lernmaterial. Es unterscheidet sich somit auch in seinen Anforderungen an den Lerner (Wirth & Leutner, 2006). Beim SRL mit dynamisch-interaktivem Lernmaterial (z.B. in exploratorischen Lernumgebungen) kommen Tätigkeiten des *Integrierens*, also des Verarbeitens und Behaltens von Informationen, und des *Identifizierens* (vgl. Wirth, 2004, 2005), also des systematischen Generierens neuer Informationen, zusammen (Wirth & Leutner, 2006). Die zusätzlichen Anforderungen des SRL mit dynamisch-interaktivem Lernmaterial im Vergleich zum SRL mit statisch-passivem Lernmaterial liegen darin, dass beim Lernen mit statisch-passivem Lernmaterial die präsentierten Informationen „nur“ selektiert, organisiert und ins bestehende Wissen integriert werden müssen. Beim Lernen mit dynamisch-interaktivem Lernmaterial müssen dagegen die zu lernenden Informationen zunächst selbst erarbeitet und dann integriert werden. Friedrich und Mandl (1997) sprechen davon, dass der Lerner in exploratorischen Lernumgebungen mehr leisten muss als in expositorischen Lernumgebungen, weil dabei komplexere Eigenaktivitäten erbracht werden müssen.

Wirth, Leutner und Fischer (2006) nennen drei Merkmale, die besonders bedeutsam für erfolgreiches Lernen durch Experimentieren sind:

- (1) Selbstreguliertes Lernen ist ein zyklischer und zielgerichteter Prozess, der durch die Auswahl, Durchführung und Regulation von Strategien gestaltet wird.
- (2) Der Lerner beobachtet, bewertet und reguliert (Schreiber, 1998) den Lernprozess kontinuierlich nicht nur auf der Makro-, sondern insbesondere auch auf der Mikroebene.
- (3) Selbstreguliertes Lernen vollzieht sich unter sich kontinuierlich verändernden Bedingungen: Zum einen verändert sich das Wissen des Lerners, zum anderen verändert sich bei dynamisch-interaktiven Lernumgebungen die Lernsituation in Abhängigkeit von den Handlungen des Lerners. (S. 121-122).

Vor allem der dritte Punkt hebt die Besonderheit des SRL durch Experimentieren im Vergleich zu anderen Formen des SRL (z.B. Lernen mit Texten) hervor. Aufgrund dieser kontinuierlichen Veränderungen scheint es beim SRL durch Experimentieren umso

wichtiger den Lernprozess kontinuierlich zu beobachten und zu überwachen, wie es im Monitoring-Prozess des SRL passiert.

Mit dem Lernen durch Experimentieren befassen sich konstruktivistische Ansätze zum (*scientific*) *discovery learning* (de Jong & van Joolingen, 1998; Dunbar, 1993; Klahr & Dunbar, 1988; Klahr, Fay & Dunbar, 1993; Kuhn, Black, Keselman & Kaplan, 2000; van Joolingen & de Jong, 1991, 1993, 1997; Vollmeyer & Burns, 1996; White & Frederiksen, 1998). Sie legen einen Fokus auf die Aktivitäten des „Entdeckens“ und das dadurch ermöglichte Gewinnen neuer Informationen in Lernumgebungen. Reid, Zhang und Chen (2003) definieren *scientific discovery learning* (SDL) als „knowledge construction that is based on scientific discovery activities.“ (S.10). Die Autoren nennen in Anlehnung an Zhang (2000) drei verknüpfte Bereiche beim Prozess des effektiven SDL: 1) Problem-Repräsentation und das Generieren von Hypothesen, was stark auf der Aktivierung und Darstellung von Vorwissen beruht, 2) das Testen von Hypothesen in validen Experimenten und 3) reflektierendes Abstrahieren und Integrieren der entdeckten Erfahrungen. Auch Swaak und de Jong (1996) beschreiben *scientific discovery learning* als gekennzeichnet durch das Gewinnen von Gesetzmäßigkeiten durch Erfahrungen und / oder Beispiele. Der Prozess der Wissensaneignung beginnt dabei mit dem Aufstellen von Regeln oder Hypothesen auf der Basis einer konkreten Situation und setzt sich durch das nachfolgende Testen dieser Hypothesen in neuen Situationen fort. Lerner agieren im Grunde wie Wissenschaftler, die aus ihren empirischen Beobachtungen eine Theorie bilden. De Jong (2005) definiert SDL entsprechend wie folgt: „A way of learning in which knowledge acquisition is based on the induction of domain rules through structured experimentation.“ (S. 225).

Van Joolingen et al. (2007) und de Jong und Njoo (1992, vgl. auch Njoo & de Jong, 1993) beschreiben unter Lernprozessen des *discovery learning* neben transformativen Prozessen, wie dem *inquiry circle*, also dem Orientieren, Aufstellen von Hypothesen, Experimentieren und Schlussfolgern, auch regulative Prozesse. Während die transformativen Prozesse dazu dienen, neue Informationen zu produzieren, kontrollieren regulative Prozesse das Lernen auf einem metakognitiven Level. Sie umfassen folglich das Planen, Selbstbeobachten und Selbstbewerten des Lernprozesses. Auch de Jong et al. (1999) betonen, dass der Lerner beim *discovery learning* die Kontrolle über seinen Lernprozess hat und regulative Prozesse eine entscheidende Rolle spielen. Nach diesen Definitionen ist unter (*scientific*) *discovery learning* auch der Aspekt der Selbstregulation enthalten, somit kann man hier SRL durch Experimentieren mit (*scientific*) *discovery learning* gleichsetzen.

Diese Beschreibung des SRL durch Experimentieren macht deutlich, dass hier die gleichen übergeordneten Strategien zum Einsatz kommen wie unter Kapitel 2 beschrieben. Diese metakognitiven Aktivitäten sind als regulative Prozesse in den beschriebenen Modellen zum SDL repräsentiert.

Allerdings unterscheiden sich die untergeordneten Strategien, die durch die übergeordneten reguliert werden, in Abhängigkeit von der Art des Lernens beziehungsweise konkreten Form des SRL, wie unter 2.1 beschrieben. Die konkreten kognitiven Strategien, die für das SRL durch Experimentieren relevant sind, werden unter den transformativen Prozessen gefasst. Es handelt sich dabei um Strategien der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Der zentrale beziehungsweise ein sehr typischer Weg naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung ist beschreibbar durch Hypothesenbildung, Experimente durchführen und Schlussfolgerungen ziehen. Dieser Dreischritt steckt auch in Zhangs (2000) Beschreibung von SDL (s.o.).

Diese Art der Erkenntnisgewinnung ist theoretisch in dem *Scientific Discovery as Dual Search* (SDDS) Modell von Klahr und Dunbar (1988; Klahr, 2000) dargestellt. Die Autoren beschreiben das Vorgehen eines Naturwissenschaftlers als Suche in beziehungsweise als Interaktion zwischen zwei Repräsentationsräumen, dem Hypothesenraum und dem Experimenterraum. Im Hypothesenraum können alle Regeln und Gesetzmäßigkeiten „gefunden“ werden, die über ein bestimmtes Phänomen eines Inhaltsbereichs formuliert werden können. Im Experimenterraum „liegen“ alle Experimente und deren Ergebnisse, die dazu durchgeführt werden können. Der *discovery*-Prozess lässt sich nach diesem Modell ebenfalls als Dreischritt, prüfbare Hypothese, valides Experiment und Schlussfolgerung daraus, verstehen. Es ist wie folgt beschreibbar: Im Hypothesenraum wird eine Hypothese ausgewählt, dazu wird im Experimenterraum ein passendes Experiment „gesucht“. Dieses resultiert in der Realität darin, dass zu einer aufgestellten Hypothese ein passendes Experiment durchgeführt wird. Die Ergebnisse dieses Experiments werden dann wieder im Hypothesenraum interpretiert, indem als Schlussfolgerung aus diesem Experiment Hypothesen bestätigt, modifiziert, falsifiziert beziehungsweise neue Hypothesen aufgestellt werden. Wenn zu Beginn keine Hypothesen aufgestellt werden können, kann alternativ mit Experimenten begonnen werden. Aus den Ergebnissen der durchgeführten Experimente können dann nachfolgend Hypothesen formuliert werden. Im Grunde handelt es sich um einen Kreislauf zwischen den beiden Räumen, um zu Hypothesen passende Experimente zu suchen beziehungsweise zu Experimenten passende Schlussfolgerungen und neue Hypothesen zu formulieren. Gerade

diese systematische Verknüpfung bzw. Interaktion beider Räume ist entscheidend für ein strategisches Handeln, welches zu Lernerfolg führt (vgl. Gößling, 2010).

Wichtig ist, dass es sich bei den Experimenten, die durchgeführt werden, um systematische, valide Experimente handelt. Das bedeutet, dass Strategien des Experimentierens genutzt werden, die gültige Informationen liefern. Eine prominente kognitive Strategie, um durch Experimente Informationen zu gewinnen, ist das Anwenden der isolierenden Variablenkontrolle (IVK-Strategie), im Englischen als *control-of-variables strategy* (CVS) und in der Literatur auch unter VOTAT-Strategie (Vary One Thing At a Time, Tschirgi, 1980) bekannt (vgl. Chen & Klahr, 1999, Klahr, 2000). Mit dieser Strategie werden systematische Zusammenhänge zwischen Variablen untersucht. Dabei geht es darum, die Werte einer unabhängigen Variablen gezielt zu variieren, während die Werte aller weiteren unabhängigen Variablen konstant gehalten werden. So kann der Einfluss dieser Variablen auf die abhängige Variable eindeutig herausgefunden werden. Es ist eine grundlegende Strategie, um Experimente durchzuführen, die nicht konfundiert sind, und um so gültige kausale Schlüsse ziehen zu können. Der Erwerb dieser Strategie ist bedeutsam in der Entwicklung von naturwissenschaftlichen Fertigkeiten (Bullock & Sodian, 2003; Klahr, 2000; Klahr & Simon, 1999; Kuhn et al., 2000). Die Wirksamkeit der IVK-Strategie bezüglich des Lernerfolgs ist in vielen empirischen Studien bestätigt worden (Chen & Klahr, 1999; Klahr, 2000; Klahr et al., 1993; Klahr & Simon, 1999; Küsting, Thillmann, Wirth, Fischer & Leutner, 2008; Kröner, 2001; Kröner, Plass & Leutner, 2005; Putz-Osterloh, 1993; Vollmeyer & Rheinberg, 1998, 1999).

Wie für das SRL allgemein gilt auch für das SRL durch Experimentieren, dass Lerner Strategiewissen über diese Strategien des Experimentierens benötigen, um sie anwenden zu können. In Kapitel 2.2 wurde aber bereits deutlich gemacht, dass verschiedene Moderatoren, zum Beispiel die aktuelle Motivation, Einfluss nehmen können, ob vorhandenes Strategiewissen auch in einer Strategienutzung resultiert.

Fazit

In diesem Kapitel wurden die Besonderheiten des SRL durch Experimentieren beschrieben. Dabei wurde als zusätzliche Anforderung des SRL durch Experimentieren das selbstständige Erarbeiten neuer zu lernender Informationen in einer Lernsituation, die sich aufgrund der Lernerhandlungen ständig verändert, hervorgehoben.

Des Weiteren wurde *scientific discovery learning* (SDL) als Bezeichnung für SRL durch Experimentieren dargestellt, da in dieser Konzeption neben den transformativen auch

regulative Prozesse berücksichtigt werden. Zu den regulativen Prozessen gehören die in Kapitel 2.1 als übergeordnete Regulationsstrategien beschriebenen metakognitiven Strategien zur Planung, Selbstbeobachtung und -bewertung und Regulation. Der Monitoring-Prozess ist auch hierfür, wie für alle Formen des SRL, von entscheidender Bedeutung. Es wurde zudem verdeutlicht, dass neben den übergeordneten Regulationsstrategien spezifische kognitive Strategien für ein erfolgreiches SRL durch Experimentieren relevant sind. Diese kognitiven Strategien finden sich in den transformativen Prozessen wieder und sind die Strategien der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Sie lassen sich im Wesentlichen als Strategien für den Dreischritt Hypothese, Experiment, Schlussfolgerung wiedergeben. Im SDDS-Modell von Klahr und Dunbar (1988) sind diese theoretisch beschrieben. Dabei geht es darum, prüfbare Hypothesen aufzustellen, dazu passende valide Experimente durchzuführen und daraus (in Rückbezug zur Hypothese) Schlussfolgerungen zu ziehen. Dabei können das Hypothesen Bilden und das Schlussfolgerungen Ziehen als kognitive Strategien des Experimentierens verstanden werden. Eine prominente und wirksame Strategie, um valide Experimente durchzuführen, ist die isolierende Variablenkontrolle (IVK). Auch beim SRL durch Experimentieren ist wie beim SRL generell (vgl. Kapitel 2.2) die Bedeutung des Strategiewissens und deren Zusammenhang mit der Strategienutzung zu betonen. Um die Zusammenhänge von Strategiewissen und -nutzung und Lernerfolg bestimmen zu können, ist es nötig Wissen über Experimentierstrategien und Strategienutzung getrennt zu erfassen. Dazu sind geeignete Instrumente notwendig, Strategienutzung sollte handlungsnah (z.B. über Verhaltensbeobachtung) gemessen werden und Strategiewissen beispielsweise über verhaltensbasierte Tests (vgl. Thillmann, 2008).

Im nächsten Kapitel wird darauf eingegangen, ob SRL durch Experimentieren für Lerner effektiv ist und welche Schwierigkeiten sich dabei ergeben können. Dabei wird auf die Forschung zum *scientific discovery learning* Bezug genommen. Des Weiteren wird deutlich gemacht werden, wo Ursachen für diese Schwierigkeiten liegen können, indem verschiedene mögliche Defizite von Lernern dargestellt werden.

4. Probleme des SRL durch Experimentieren

SRL durch Experimentieren ist motivierend und besitzt das Potential, dass Lerner Wissen effektiver mit alltagsweltlichen Kontexten verbinden und es zum Wissenserwerb und zur Wissensintegration kommt (McDaniel & Schlager, 1990; Minstrell, 2000; Reiser, 2004; Schauble, 1990; Schauble, Glaser, Raghavan & Reiner, 1991a). Es birgt aber auch einige Herausforderungen für den Lerner in sich, unter anderem das Konstruieren von Hypothesen, das Interpretieren der empirischen Daten zur Überprüfung dieser Hypothesen und die Anforderungen, die die Regulation des SRL mit sich bringt (vgl. Kapitel 2 und 3). Diese Herausforderungen erfordern Strategiewissen, Wissen über die notwendigen Prozesse beim SRL durch Experimentieren (siehe Kapitel 3), inhaltliches Wissen sowie metakognitive Fähigkeiten der Reflektion, um zu bewerten, zu überdenken und zu überarbeiten. Solch eine lernerkontrollierte, selbstregulierte Lernsituation stellt folglich hohe kognitive und metakognitive Anforderungen (Veenman, Elshout & Busato, 1994). Zumindest für Schüler mit wenig Vorwissen ist es daher schnell überfordernd, die neuen Informationen auf sich allein gestellt aufzubereiten und zu verarbeiten (Moreno, 2004; Veenman et al., 1994). Da es sich beim *discovery learning* aber meist um neue Inhalte handelt, zu denen das Domänen spezifische Vorwissen fehlt, sowie um neue Prozesse, die beim SRL durch Experimentieren relevant sind, und unbekannte Strategien, die im traditionellen Unterricht nicht explizit gemacht werden (vgl. Quintana et al., 2004), sind große Herausforderungen und Überforderungen sehr wahrscheinlich (Reiser, 2004). So wundert es nicht, dass Studien zum *scientific discovery learning* zeigen, dass Lerner häufig Fehler machen, selten angemessene Strategien nutzen und sich bloßes, ungeleitetes *discovery learning* als wenig effizient erweist (Azevedo et al., 2004a; Azevedo & Hadwin, 2005; Bangert-Drowns, Kulik & Kulik, 1985; de Jong, 2005; de Jong & van Joolingen, 1998; Kirschner, Sweller & Clark, 2006; Klahr & Dunbar, 1988; Klahr & Niegam, 2004; Kröner, 2001; Leutner, 2004; Mayer, 2004; Njoo & de Jong, 1993; Rieber & Parmley, 1995; Süß, 1996; van Joolingen et al., 2007; White & Frederiksen, 1998). In diesem Kapitel werden nun die verschiedenen Fehler und Probleme, die die Forschung zum SRL durch Experimentieren aufgezeigt hat, beschrieben.

De Jong und van Joolingen (1998) listen in ihrem Reviewartikel die Schwierigkeiten auf, die Lerner beim *scientific discovery learning (SDL)* aufzeigen. Es handelt sich um Schwierigkeiten beim 1. Generieren und Anpassen von Hypothesen, 2. Durchführen von Experimenten mit gutem Design, 3. Interpretieren der Daten und 4. bei der Regulation des

SDL. Während sich die ersten drei Punkte also auf die untergeordneten Strategien beziehen, sind beim vierten Punkt die Probleme mit den übergeordneten Regulationsstrategien angesprochen. Die einzelnen Probleme nach de Jong und van Joolingen (1998) zu den vier Punkten werden im Folgenden aufgelistet.

Zu 1.: Lerner wissen unter anderem nicht, wie eine Hypothese auszusehen hat. Sie können Hypothesen nicht an gesammelte Daten anpassen und sind nicht in der Lage sich eine Alternativ-Hypothese zu überlegen. Das heißt, es wird trotz widersprüchlicher Belege weiter an einer Hypothese festgehalten (vgl. *confirmation bias* unter Punkt 3.) Auf der anderen Seite werden Hypothesen aber auch verworfen, ohne dass empirische Ergebnisse dieses Vorgehen rechtfertigen. Außerdem werden Hypothesen aufgestellt, die beim Finden der gesuchten Zusammenhänge nicht weiterhelfen.

Zu 2.: Es werden Variablen manipuliert, die nicht in der Hypothese vorkommen. Zudem werden zu viele Variablen gleichzeitig variiert, daher können keine gültigen Schlüsse aus den Ergebnissen gezogen werden. Auch bei Lin und Lehman (1999) heißt es, dass Schüler Schwierigkeiten haben die isolierende Variablenkontrolle in ihren Experimenten zu berücksichtigen. Anstatt die Vielzahl von möglichen Experimenten zu nutzen, wird nicht selten das gleiche Experiment mehrmals durchgeführt.

Ein allgemeines Problem ist, dass Lerner eher darauf fokussieren bestimmte Produkte, also erwünschte Ergebnisse, herzustellen anstatt darauf, bestimmte Lernziele zu erreichen. Hierbei ist der Unterschied zwischen Lernen und Problemlösen angesprochen; nur beim Lernen kommt es zu einer nachhaltigen Wissenserweiterung (vgl. Klauer, 1988; Wirth, 2004). Schüler legen weniger Wert darauf „zu lernen“ und die Regeln und Gesetze zu verstehen, die hinter Phänomenen stehen (Perkins, 1998; Schauble, Glaser, Duschl, Schulze & John, 1995). Stattdessen ziehen oberflächliche Aspekte der Lernprodukte die Aufmerksamkeit auf sich (Krajcik et al., 1998). Außerdem wird zu wenig Aufmerksamkeit auf Reflexion und Evaluation gelegt (Loh, 2003, zitiert nach Reiser, 2004). Insofern werden häufig auch Experimente durchgeführt, ohne die Absicht eine Hypothese zu testen. Es geht dabei nicht darum die zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten zu verstehen, sondern darum wünschenswerte Ergebniszustände herzustellen. In der Literatur ist dieses Verhalten unter dem Namen *engineering approach* zu finden (Njoo & de Jong, 1993; Schauble et al., 1995; Schauble, Klopfer & Raghavan, 1991b; White, 1993). Wenn Lerner nicht die Absicht haben zu lernen, sondern nur motiviert sind möglichst schnell mit minimaler Anstrengung durch das System zu kommen, spricht man auch von *gaming* (vgl. van Joolingen et al., 2007).

Zu 3.: Bei der Interpretation der Daten kommt es zum falschen Entschlüsseln der Daten. Regelmäßigkeiten in den Daten werden nicht gefunden. Ergebnisse aus den durchgeführten Experimenten werden verändert oder negiert (Chin & Brewer, 1993). Fehlinterpretationen führen meist zur Bestätigung der Hypothese. Das legt nahe, dass die vermutete Hypothese die Interpretation der Daten beeinflusst. Ein übliches Problem ist hier der viel untersuchte *confirmation bias* (Lord, Ross & Lepper, 1979; Nickerson, 1998; Wason, 1960), also die Tendenz, seine Erwartung bestätigen zu wollen. Ergebnisse, die nicht mit den Erwartungen übereinstimmen, werden weniger oder verzerrt gewertet (vgl. Chin & Brewer, 1993).

Zu 4.: Lerner gehen eher unsystematisch und zufällig vor, anstatt systematisch ihre Experimente zu planen und das eigene Verhalten zu beobachten und zu bewerten, sprich ihr Lernen angemessen zu regulieren. Studien zu Metakognition und SRL im Allgemeinen zeigen ebenfalls, dass nicht alle Lerner fähig sind, ihr Lernen zu überwachen und zu regulieren oder sich Hilfe zu suchen, wenn sie sie brauchen (Hadwin & Winne, 2001). Die hohen Anforderungen durch die regulativen Prozesse und vor allem durch den Monitoring-Prozess an den Lerner (Veenman et al., 1994; Winne, 1996) erklären, warum die Regulation des Lernprozesses ein Schlüsselproblem beim *discovery learning* ist (vgl. de Jong et al., 1999). Gerade bei zentralen Prozessen der Selbstregulation, wie Planung und Monitoring, treten häufig Probleme beim *discovery learning* auf (Lavoie & Good, 1988; Manlove, Lazonder & de Jong, 2007; Schauble et al., 1991a; Shute & Glaser, 1990; Simmons & Lunetta, 1993). Diese Prozesse werden folglich nicht adäquat durchgeführt.

Zum Planungs-Prozess heißt es entsprechend bei Manlove et al. (2007), dass *discovery learning* von Schülern häufig gekennzeichnet ist durch fehlende Planung des Lernprozesses beziehungsweise durch schlecht konstruierte Planungen. Schüler zeigen kein systematisches oder globales Vorhaben, wie sie vorgehen wollen. Üblicherweise beginnen Schüler schon mit einem falschen Start (Carlson, Lundy & Schneider, 1992; Schauble, 1990). Häufig folgt daraus, dass Schüler frustriert und verwirrt werden, und sie zu Misskonzepten gelangen (Brown & Campione, 1994; Mayer, 2004).

Beim Monitoring-Prozess weisen Schüler nach Manlove et al. (2007) vorwiegend drei Probleme auf. Erstens erkennen die meisten Schüler gar nicht, wenn sie etwas nicht verstanden haben und nehmen häufig auch nicht die Hinweise der Umwelt wahr, die ihnen Feedbackansätze für das Monitoring liefern würden (vgl. Chi, de Leeuw, Chin & LaVancher, 1994; Davis & Lin, 2000; Ertmer & Newby, 1996). Schüler sind also nicht effektiv, wenn sie analysieren, was sie nicht verstanden haben. Häufig sind sie zu selbstsicher in ihren Selbstbeurteilungen und unterliegen einer Illusion über ihre

Kompetenz, die sie daran hindert Lücken in ihrem Wissen zu erkennen (vgl. Chi et al., 1989; Davis, 2003). Zweitens, selbst wenn Schüler erkennen, dass sie etwas nicht verstehen, können sie nicht detailliert ausdrücken, was genau sie nicht verstehen. Drittens, auch wenn es keinerlei Schwierigkeiten mit dem Erkennen der genauen Verständnisprobleme oder Fehler gibt, fehlen häufig die richtigen Strategien, um diese Probleme beheben zu können (vgl. Schraw, 1998).

Ähnliche Probleme zeigen sich auch bei der Evaluationsphase des SRL. Schüler sind sich nicht bewusst, worauf sie beim Bewerten ihres Lernprozesses und ihrer Lernergebnisse achten sollten. Schüler reflektieren zum Beispiel kaum darüber, wie Versuchsaufbau und methodische Aspekte mit der Forschungsfrage zusammenhängen (Schauble et al., 1991a).

Ursachen für die Probleme und Schwierigkeiten

Folgendes Zitat von Winters und Azevedo (2005) nennt Gründe für die Schwierigkeiten und Probleme der Lerner: „Studies have shown that many students lack the appropriate cognitive, motivational, metacognitive, and scientific-reasoning skills and strategies to engage in the inquiry process in a CBLE in an effective manner (White & Frederiksen, 1998; Jacobson & Archodidou, 2000).” (S.190). Viele Schüler zeigen also nicht die Fertigkeiten und Strategien, die für erfolgreiches Lernen nötig wären. Laut Veenman, van Hout-Wolters und Afflerbach (2006) gibt es verschiedene Möglichkeiten, warum dieses der Fall sein könnte. Zum Einen kann es sein, dass Lerner kein ausreichendes Wissen über diese Strategien und Fertigkeiten zur Verfügung haben, die Autoren sprechen dabei von einem Verfügbarkeitsdefizit (*availability deficiency*). Lernern fehlt also das strategische Wissen, das gebraucht wird, um den *discovery*-Prozess zu koordinieren und zu steuern (vgl. Bransford, Brown & Cooking, 2000). Zum Anderen kann dieses Wissen zwar ausreichend vorhanden sein, aber es wird spontan nicht oder zumindest nicht richtig genutzt (vgl. Brown & DeLoache, 1978; Flavell, 1976; Mayer, 1992; Veenman et al., 2000). Dieses wird als Produktionsdefizit (*production deficiency*) bezeichnet (Veenman et al., 2006). Auch Hasselhorn (1995a, 1996) unterscheidet Defizite in Abhängigkeit davon, ob Strategien nicht verfügbar sind oder ob sie nur nicht richtig beziehungsweise gar nicht genutzt werden. Er spricht ebenfalls von Produktionsdefizit, wenn Strategiewissen zwar vorhanden ist, es aber zu keiner Nutzung dieses Wissens kommt (Hasselhorn, 1992). Er nutzt im Unterschied zu Veenman et al. (2006) zusätzlich den Begriff Nutzungsdefizit für den Fall, wenn es zwar zu spontaner Strategienutzung kommt, diese aber fehlerhaft ist. Bei Veenman et al. würde dieses ebenfalls unter das Produktionsdefizit fallen. Statt von

Verfügbarkeitsdefizit spricht Hasselhorn von Mediationsdefizit, hier ist also das notwendige Strategiewissen nicht ausreichend vorhanden.

Die Ursache des Produktionsdefizits, bei dem die Strategien und Fertigkeiten trotz deren Kenntnis nicht angewandt werden, könnte nach Veenman, Kok und Blöte (2005) darin liegen, dass Schüler nicht flexibel in ihrer Wissensanwendung sind, dass sie nicht wissen, wann die Strategien angemessen sind, und / oder dass durch die Anforderungen der Aufgabe ein *cognitive overload* vorliegt (vgl. Moreno, 2004). *Cognitive overload* beschreibt einen Zustand, bei dem die kognitive Belastung des Lernenden so groß ist, dass Informationsverarbeitung und -speicherung durch die begrenzte Kapazität des Arbeitsspeichers nicht mehr möglich sind (Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1988, 1999). Weitere Ursachen können ein Mangel an beziehungsweise Probleme mit metakognitiven Aktivitäten sein (Bannert, 2007; Friedrich & Mandl, 1992; Hasselhorn, 1992; Veenman, 1993). Möglicherweise sind Schüler zum Teil auch nicht ausreichend motiviert ihr Wissen anzuwenden. So konnte Thillmann (2008) zeigen, dass die aktuelle Motivation ein Moderator zwischen Strategiewissen und adäquater Strategienutzung ist. Nur wer entsprechend motiviert war, zeigte in dieser Studie eine höhere Nutzung des Wissens über die IVK-Strategie. Andere Moderatoren können das Vorwissen oder die Aufgabenschwierigkeit sein (Hasselhorn, 1992, 1995b). Diese Moderatoren, wie Motivation, inhaltliches Wissen und metakognitive Kontrolle nennen auch Pressley et al. (1987, 1989) um die Beziehung zwischen Wissen und Nutzung zu beschreiben (vgl. Kapitel 2.2).

Veenman et al. (2005) berichten, dass bei den meisten Lernern ein Produktionsdefizit anstatt eines Verfügbarkeitsdefizits vorliegt. Welches Defizit zugrunde liegt, hat entsprechende Konsequenzen für geeignete Fördermaßnahmen und Hilfen (vgl. Bannert, 2007). Es ist also notwendig festzustellen, welches Defizit vorhanden ist (vgl. Kapitel 6 und 9 dieser Arbeit). Laut Bannert (2007) fehlen allerdings häufig Instrumente zur Erfassung vorhandener Strategiedefizite. Nach einer solchen Diagnostik müssen dann geeignete, für das jeweilige Defizit angemessene Unterstützungsmaßnahmen gefunden werden, um das SRL durch Experimentieren effektiver gestalten zu können. Das nächste Kapitel befasst sich mit Unterstützungsmaßnahmen für das SRL durch Experimentieren. Im Folgenden geht es somit um *guided discovery learning*. So wird *discovery learning* häufig bezeichnet, wenn Unterstützungsmaßnahmen dazu kommen (vgl. Brown & Campione, 1994; de Jong, 2005; Kirschner et al., 2006; Leutner, 1993; Mayer, 2004; Moreno, 2004). Dieses *guided discovery learning* erfüllt sowohl das Kriterium, dass Lerner

genügend Freiheit brauchen, um kognitiv aktiviert zu sein, als auch das Kriterium, genügend geführt zu werden, damit die kognitive Aktivität in der Konstruktion nützlichen Wissens resultiert (Mayer, 2004).

Fazit

Dieses Kapitel hat deutlich gemacht, dass die hohen kognitiven und metakognitiven Anforderungen des SRL durch Experimentieren zu häufigen Fehlern und Schwierigkeiten führen. Besonders ist dieses der Fall für leistungsschwächere Schüler oder Schüler, die wenig Vorwissen oder wenig Erfahrungen im SRL durch Experimentieren mitbringen.

Es zeigt sich in vielen Studien, dass wenig angemessene Strategien benutzt werden und reines *discovery learning* wenig effizient ist. Besonders de Jong und van Joolingen (1998) haben in ihrem Überblicksartikel zum vorliegenden Forschungsstand viele Probleme beim SDL aufgezeigt. Diese liegen im Aufstellen und Anpassen von Hypothesen, im Durchführen von Experimenten, z.B. seltene Anwendung der IVK-Strategie, und beim Interpretieren der Daten, z.B. häufiges Auftreten des *confirmation bias*. Schwierigkeiten gibt es in allen Bereichen des Experimentierprozesses. Neben diesen Problemen beim Anwenden der untergeordneten kognitiven Strategien haben Lerner zudem Schwierigkeiten, übergeordnete metakognitive Strategien anzuwenden, um das SDL zu regulieren. Besonders das Monitoring überfordert häufig den Lerner, so dass es nicht adäquat durchgeführt wird. Schüler erkennen beim Selbstbeobachten häufig erst gar nicht ihre Fehler und Probleme, sie unterliegen einer falschen Selbstbeurteilung oder sie wissen nicht, wie sie ihr Verhalten verändern können, um die Probleme zu beheben.

Ursachen für die genannten Probleme können in einem Mangel an kognitiven, motivationalen oder metakognitiven Strategien, die für SRL durch Experimentieren relevant sind, liegen. Hier ist es möglich, verschiedene zugrunde liegende Defizite zu unterscheiden. So kann es sein, dass das entsprechende Wissen über die notwendigen Strategien nicht oder unzureichend vorhanden ist. Dieses wird als Mediationsdefizit (Hasselhorn, 1995a, 1996) oder Verfügbarkeitsdefizit (Veenman et al., 2005) bezeichnet. Wenn trotz Wissen über die relevanten Strategien eine Strategienutzung ausbleibt beziehungsweise die Strategienutzung ineffizient ist, sprechen Veenman et al. von einem Produktionsdefizit. Hasselhorn spricht im ersten Fall ebenfalls vom Produktionsdefizit, den zweiten Fall nennt er Nutzungsdefizit. Da diese genauere Unterteilung für die vorliegende Arbeit nicht notwendig ist, da sowohl Nutzungs- als auch Produktionsdefizit (nach Hasselhorn) die gleiche Konsequenz bezüglich der Unterstützung nach sich ziehen, werden

im Weiteren die Begriffe und Bedeutungen von Veenman et al. verwendet. Mögliche Ursachen für ein Produktionsdefizit können zum Beispiel ein Mangel an metakognitiven Fähigkeiten oder ein Mangel an Motivation sein.

Aus den in diesem Kapitel genannten Schwierigkeiten und Problemen der Lerner resultiert, dass SRL durch Experimentieren durch geeignete Maßnahmen unterstützt werden sollte. Um angemessen zu unterstützen, ist es hilfreich zu prüfen, welches Defizit bei einer ausbleibenden Strategienutzung zugrunde liegt. Hierzu bedarf es geeigneter Instrumente zur Erfassung des Strategiewissens und der Strategienutzung. Viele verschiedene Unterstützungsmaßnahmen, um das *scientific discovery learning* für Schüler zu erleichtern und zu verbessern, wurden und werden in der derzeitigen Forschung untersucht. Um diese Unterstützung des SRL durch Experimentieren geht es im nächsten Kapitel.

5. Unterstützung des SRL durch Experimentieren

Das vorherige Kapitel hat Schwierigkeiten und Probleme, die Lerner mit SRL durch Experimentieren haben, deutlich gemacht. Es hat sich in vielen Studien gezeigt, dass reines *discovery learning* wenig effizient ist (vgl. Kapitel 4). Als Konsequenz hieraus kommen Forscher zu der einheitlichen Meinung, dass SRL durch Experimentieren eine angemessene Unterstützung braucht, um diese Art des Lernens effektiver zu gestalten (Azevedo & Hadwin, 2005; de Jong, 2005; Kirschner et al., 2006; Klahr & Niegam, 2004; Mayer, 2004; van Joolingen et al., 2007). Deshalb werden seit einigen Jahren Unterstützungsmaßnahmen in Lernumgebungen zum SDL eingebaut, die konzeptuelle, metakognitive, prozedurale und / oder strategische Fähig- und Fertigkeiten unterstützen sollen. Diese Unterstützungsmaßnahmen werden im Englischen auch mit dem Begriff ‚*scaffolds*‘ versehen. Bisher fehlt allerdings im Bereich *scaffolding* eine detaillierte Taxonomie, die eine Vielzahl an Methoden umfassen würde. Das erschwert es, die verschiedenen, zum Teil kombinierten Unterstützungsformen und Unterstützungsmodelle, vergleichend zu untersuchen (Schraw, 2007). Der häufige Einsatz mehrerer Unterstützungsmaßnahmen zugleich, macht es zudem schwierig die Effektivität einzelner Maßnahmen zu bestimmen (Azevedo & Hadwin, 2005). Es gibt eine Vielzahl von nebeneinander stehenden Studien, die die verschiedensten Unterstützungsmaßnahmen, einzeln oder kombiniert, unter verschiedensten Lernbedingungen eingesetzt haben. De Jong und van Joolingen (1998) bemängeln allerdings, dass nicht überall die Effektivität dieser Maßnahmen erfasst wurde. Welche Art von Unterstützung beim SDL effektiv ist und wie man verschiedene Unterstützungsmethoden aufeinander abstimmen kann, sind nach de Jong (2005) die Kernfragen der Forschung in den nächsten Jahren.

In diesem Kapitel werden zunächst bisherige Probleme von Unterstützung beim SRL durch Experimentieren und die Anforderungen an Unterstützungsmaßnahmen, die sich daraus ergeben, beschrieben (Unterkapitel 5.1). In Unterkapitel 5.2 geht es dann um verschiedene Formen der Unterstützung. Hierbei wird verstärkt auf Unterstützung während des Lernens und auf adaptive Unterstützung eingegangen. In Unterkapitel 5.3 wird daraufhin eine Unterstützungsmöglichkeit besonders hervorgehoben, externes Feedback. Es werden hier verschiedene Formen von Feedback definiert. Als Begründung, warum diese Form der Unterstützung beim SDL sinnvoll erscheint, werden dann Feedback und SRL theoretisch miteinander verbunden. Es folgt in Auszügen ein Überblick über die Ergebnisse der bisherigen Feedback-Forschung. Zum Ende des Kapitels wird in Unterkapitel 5.4

zusammengefasst, was und wie beim SRL durch Experimentieren unterstützt werden sollte und warum sich eine bestimmte Form von Feedback dafür anbietet. Es wird zudem deutlich gemacht, welche Forschungslücken in diesem Bereich noch bestehen und an welchen davon diese Arbeit ansetzen kann.

5.1 Probleme und Anforderungen beim Unterstützen von SRL durch Experimentieren

Ein erstes Problem von vielen Unterstützungsmaßnahmen ist, dass sich bei ihrer Evaluation häufig nur kleine oder gar keine Effekte zeigen. Nicht jede Unterstützung fördert SRL durch Experimentieren also erfolgreich beziehungsweise umfassend. Es gibt zum Beispiel Studien, in denen zwar eine Verbesserung des Lernprozesses, aber keine bezüglich des inhaltlichen Wissenszuwachses gefunden wurde (van Joolingen & de Jong, 1991, 1993). Andere Studien fanden bezüglich des Wissenszuwachses zum Teil nur kleine Effekte oder nur unter bestimmten Bedingungen (Veermans, de Jong & van Joolingen, 2000; Veermans, van Joolingen & de Jong, 2006; Reid et al., 2003; Zhang et al., 2004). Mögliche Erklärungen für kleine oder fehlende Effekte auf die Lernprodukte könnten sein, dass es eine längere Zeit braucht bis sich das verbesserte Lernverhalten auch auf das Lernergebnis durchschlägt, oder dass die verbesserten Lernprozesse möglicherweise nicht zum Wissenserwerbsprozess beitragen (van Joolingen et al., 2007). Eine andere Erklärung für fehlende Erfolge könnte in den eingesetzten Maßen für den Lernerfolg liegen (de Jong, 2005), beispielsweise fehlende Transfer- und Anwendungstests (de Jong & van Joolingen, 1998).

Eine erste allgemeine Forderung lautet deshalb, die Wirkung von Unterstützungsmaßnahmen sowohl auf den Lernprozess als auch auf Lernprodukte zu überprüfen. Um den Lernprozess zu erfassen, können beispielsweise Methoden des lauten Denkens (Ericsson & Simon, 1980) oder computerbasierte Aufzeichnungen, sogenannten *logfiles*, eingesetzt werden. Nach de Jong (2005) wird sich bisher selten die Mühe gemacht, den *discovery*-Prozess über solch prozessbasierte Maße zu analysieren. Rivers und Vockells (1987) Studie bildet eine Ausnahme, hier wurden auch *discovery skills* als Lernerfolgsmaß gemessen. Sie fanden darin einen Vorteil für *guided discovery learning* gegenüber *unguided discovery learning*, besonders wenn Unterstützungsmaßnahmen in Form von Hinweisen, die auf gutes Experimentierverhalten abzielten, also auf die Nutzung von Experimentierstrategien, eingesetzt wurden.

Neben kleinen oder fehlenden Effekten besteht ein weiteres Problem von Unterstützungsmaßnahmen darin, dass diese auch kontraproduktiv sein können (de Jong, 2005; Hulshof & de Jong, 2006). So kann in bestimmten Fällen das Vorhandensein von mehreren Unterstützungsmaßnahmen, die manchmal auch noch miteinander kombiniert sind, den Lerner überfordern und den *cognitive load* (Chandler & Sweller, 1991; Sweller, 1988, 1999), also die kognitive Belastung, erhöhen (Lazonder, Wilhelm & Hagemans, 2008). Außerdem kann es zu dem unerwünschten Nebeneffekt von angebotener Unterstützung kommen, dass die Aufmerksamkeit vom eigentlichen *Experimentier*-Prozess weg und hin zu den Unterstützungsmaßnahmen gelenkt wird, und es verstärkt zum sogenannten *gaming* (vgl. Kapitel 4) kommt (van Joolingen et al., 2007). Je stärker die Unterstützungsmaßnahmen in die basalen Prozesse des Entdeckens integriert sind, desto geringer sei vermutlich die Gefahr des *gaming*, so van Joolingen et al. (2007). Eine Unterstützung, die direkt auf die grundlegenden Experimentierstrategien abzielt, scheint an dieser Stelle geeignet.

Entsprechend lautet die zweite allgemeine Forderung an Unterstützung des SDL, die Strategienutzung, gegebenenfalls zunächst auch das Strategiewissen, und vor allem das Monitoring dieser Strategienutzung zu fördern; zumal Kapitel 4 gezeigt hat, dass gerade das Monitoring Lerner schnell überfordert. Eine Unterstützung des Monitorings und der angemessenen Strategienutzung sollte dann in einem verbesserten Lernprozess resultieren, was wiederum positiv den Wissenserwerb als Lernprodukt beeinflussen sollte. Nach Wirth et al. (2006) können drei spezifische Anforderungen an die Unterstützung des Monitorings formuliert werden. Danach sollte die Unterstützung (1) direkt auf Auswahl, Durchführung und Regulation geeigneter Lernstrategien abzielen. Da das Monitoring ein kontinuierlich stattfindender Prozess ist, sollten auch die Unterstützungsmaßnahmen (2) kontinuierlich während des Lernens gegeben werden (siehe hierzu Abschnitt 5.2.1). Nicht zuletzt ist es wichtig, die Unterstützung (3) an die individuelle Lernregulation adaptiert zu präsentieren (siehe hierzu Abschnitt 5.2.2), zumal sich Lerner in ihren individuellen Voraussetzungen unterscheiden sowie individuelle Lernwege durch die Lernumgebung gehen und somit entsprechend unterschiedlicher Unterstützung bedürfen können.

Des Weiteren kann auch das Ausmaß an Unterstützung problematisch sein. Ohne Unterstützung geht es nicht, aber auch ein Zuviel davon scheint wenig nützlich. Dieser Aspekt wird auch als *assistance dilemma* bezeichnet (Koedinger & Aleven, 2007). Wenn es folglich darum geht, wie SRL unterstützt werden soll, ist immer auch die nötige Balance zwischen fehlender Unterstützung und zu direkter Vorgabe von außen angesprochen. So

ermahnen van Joolingen et al. (2007), dass die Unterstützung Raum für die Lernerfreiheit lassen muss. Nach Zimmerman (1998) entsteht Selbstregulation durch soziale und selbstgeleitete Erfahrungen. Modelllernen, verbale Unterweisung, korrekatives Feedback, soziales Instruieren, Supervision und Monitoring von außen sind folglich wichtig, aber es muss auch die Gelegenheit vorhanden sein, persönliche Entscheidungsfreiheit und Kontrolle zu erfahren. Musch (1999) schreibt dazu: „Das Erleben von Autonomie und Selbstbestimmung einerseits und äußerer Anleitung andererseits müssen sich dabei nicht ausschließen“ (S. 152). Wie stark oder wie eingreifend diese Anleitungen oder die Hilfen sein müssen, ist von verschiedenen Faktoren, besonders von individuellen Lernereigenschaften, abhängig. In manchen Situationen und für manche Lerner sind optionale Hilfen, die nur anregen, vorteilhafter. Für andere Situationen und Lerner sind es obligatorische Hilfen, die zum richtigen Vorgehen „zwingen“. Dieses ist beispielsweise der Fall für Schüler mit wenig Vorwissen, da diese weniger optionale Unterstützungsmaßnahmen nutzen als Schüler mit hohem Vorwissen (Hasselerharm & Leemkuil, 1990, nach Hulshof & de Jong, 2006). Hiermit verbunden ist die Beobachtung, dass Lerner häufig die angebotenen Unterstützungsmaßnahmen nicht nutzen, diese somit gar keine Wirkung haben können (Winters, Greene & Costich, 2008). Besonders fällt dieses ins Gewicht, wenn es sich um optionale Hilfen handelt. Aber auch nicht-optionale Hilfen instruktionaler Art werden zum Teil nicht genutzt, wenn beispielsweise Meldungen und Hinweise nicht gelesen werden. Lerner zeigen also eine schlechte Arbeitsweise im Umgang mit manchen Unterstützungsmaßnahmen (Veenman & Elshout, 1991). Ein Grund dafür kann die fehlende Motivation der Lerner sein (Bannert, 2003). Dazu mag es vor allem dann kommen, wenn die Lerner die angebotene Unterstützung nicht als unterstützend wahrnehmen, sie folglich keinen Nutzen darin sehen, sie zu gebrauchen. Insofern lautet die dritte allgemeine Forderung an Unterstützungsmaßnahmen, dass Lerner sie als unterstützend und nützlich wahrnehmen, was die Motivation erhöhen sollte, sie auch zu benutzen. Die Vermutung ist, dass dieses Ziel durch adaptive Formen der Unterstützung besonders gefördert werden kann, im nächsten Unterkapitel wird deshalb unter anderem auf diese Form der Unterstützung eingegangen (vgl. 5.2.2).

5.2 Formen der Unterstützung

Unterstützung des Lernprozesses beim computerbasierten SDL findet meist durch sogenannte *scaffolds*, *cognitive tools* oder *instructional support* statt (van Joolingen et al.,

2007). Ein Überblick dazu findet sich unter anderem bei van Joolingen (1999), Linn, Bell und Davis (2004), Quintana et al. (2004) und de Jong (2006). Es gibt dabei verschiedene Möglichkeiten diese Unterstützungsmaßnahmen zu kategorisieren (de Jong & Njoo, 1992; de Jong & van Joolingen, 1998; Niegemann, 2008a; Reid et al., 2003; Veermans et al., 2006; Winters et al., 2008).

Unterstützung adäquater Strategien

Reid et al. (2003) unterteilen Maßnahmen danach, welche kognitiven und metakognitiven Strategien sie unterstützen. Sie nennen dabei drei Formen der Unterstützung, analog zu drei zu unterstützenden Bereichen des SDL (siehe Kapitel 3). Als erstes nennen sie *interpretative support*, welcher Lernern beim Zugriff auf und der Aktivierung von Wissen hilft, um angebrachte Hypothesen aufzustellen und die Konstruktion von kohärentem Verständnis zu fördern. Es folgt *experimental support*. Er unterstützt Lerner beim Gestalten von systematischen und logischen Experimenten, der Vorhersage und Beobachtung von Ergebnissen und dem Ziehen sinnhafter Schlussfolgerungen. An dritter Stelle zählen sie *reflective support* auf. Er soll die Selbstwahrnehmung des Lerners über den Lernprozess steigern und reflektierendes Abstrahieren und Integrieren der Entdeckungen anregen. Auch de Jong und van Joolingen (1998) klassifizieren danach, welcher Teil des *Experimentier*-Prozesses unterstützt wird. So nennen sie Studien, die Hilfen implementiert haben, um das Generieren von Hypothesen zu unterstützen (z.B. Shute & Glaser, 1990; Njoo & de Jong, 1993, Quinn & Alessi, 1994), und Studien, die Unterstützungsmaßnahmen für das systematische, logische Experiment und Aktivitäten des Entdeckens einbauen (z.B. Rivers & Vockell, 1987; Nioo & de Jong, 1993; Tabak, Smith, Sandoval & Reister, 1996). Ebenso unterteilen Winters et al. (2008) in ihrem Überblicksartikel nach dem, was unterstützt wird. Sie unterscheiden konzeptuelle Unterstützung, die innerhalb oder außerhalb der computerbasierten Lernumgebung das Verstehen des Inhalts fördert, und metakognitive Unterstützung, die die Art über die Aufgabe nachzudenken und zu reflektieren lenkt.

Neben dieser inhaltlichen Kategorisierung ist es eine weitere Möglichkeit Unterstützungsmaßnahmen nach dem Zeitpunkt, wann sie gegeben werden, zu unterteilen (vgl. Einteilung von Niegemann, 2008a; Thillmann, Gößling, Wirth & Leutner, 2009; Veermans et al., 2006). Für diese Arbeit sind insbesondere Unterstützungsmaßnahmen relevant, die während des Lernens gegeben werden. Der folgende Abschnitt 5.2.1 befasst

sich deshalb mit dieser Form der Unterstützung. Des Weiteren kann man in nicht-adaptive und adaptive Unterstützungsmaßnahmen einteilen. Adaptive Unterstützung ist von besonderer Bedeutung für diese Arbeit und wird in Abschnitt 5.2.2 näher betrachtet.

5.2.1 Unterstützung während des Lernens

In diesem Abschnitt wird auf Unterstützung eingegangen, die während des Lernens stattfindet. Stattdessen gibt es auch die Möglichkeit vor dem Lernen zu unterstützen (siehe Überblick bei Thillmann, 2008), hierzu zählen vor allem Strategietrainings. Diese haben den Nachteil, dass sie aufwendig und vor allem kosten- und zeitintensiv sind, außerdem sind Trainer notwendig (Bannert, 2007; Friedrich & Mandl, 1992, 1997; Schreiber, 1998). Zudem hat man nicht immer die Kapazität vor dem Lernen noch ein Training anzusetzen und für individuell Lernende bietet sich kaum die Gelegenheit an einem Training teilzunehmen (Niegemann, 2008). In Anbetracht der möglichen zugrundeliegenden Defizite von Lernern (vgl. Kapitel 4) scheint der Aufwand durch Trainings bei einem Verfügbarkeitsdefizit noch angebracht, aber bei einem Produktionsdefizit, wenn die Strategien also eigentlich verfügbar sind, nicht angemessen. Hier dürfte stattdessen eine kurzfristige Unterstützung während des Lernens ausreichen (vgl. Bannert, 2007; Veenman et al., 2005). Betrachtet man insbesondere das SRL durch Experimentieren, heißt es bei Roth und Roychoudhury (1993, nach de Jong, 2005), dass generelle Trainings für *discovery skills* eher ineffektiv seien. Auch andere Autoren betrachten ein Training von Experimentierstrategien vor dem Lernen als wenig effektiv beziehungsweise nicht ausreichend, um SRL durch Experimentieren zu fördern (Mayer, Mautone & Prothero, 2002; Kuhn et al., 2000; Veermans et al., 2006). Stattdessen sind die in den Hilfen enthaltenen Informationen am effektivsten, wenn sie in dem Moment, in dem sie gebraucht werden, dargeboten werden und nicht bereits vor dem eigentlichen Lernen (Hulshof & de Jong, 2006; Thillmann, 2008). Aus diesen Gründen wird in dieser Arbeit auf Unterstützung fokussiert, die während des Lernens stattfindet.

Unterstützung, die während des Lernens gegeben wird, wird in manchen Klassifikationen auch als indirekte Förderung bezeichnet, wobei Trainings dann unter den Begriff der direkten Förderung fallen (Friedrich & Mandl, 1992, 1997; Niegemann, 2008). Bei dieser indirekten Förderung werden die Lernenden durch die Lernumgebung unterstützt. Das kann besonders gut in computerbasierten Lernumgebungen umgesetzt werden, da es hier möglich ist, Informationen flexibel und adaptiv zu präsentieren. Diese Unterstützung kann

sich auf die verschiedenen Phasen des Lernprozesses, wie Planung, Überwachung oder Bewertung, beziehen. Die in die Lernumgebung implementierten Hilfen können konstant oder nur für bestimmte Zeit gegeben werden. Einige dieser Unterstützungsformen während des Lernens werden im Folgenden genannt, bevor dann insbesondere auf die Prompting-Methode (s.u.) eingegangen wird.

Mögliche Unterstützungsformen innerhalb von Lernumgebungen, die effektiv unterstützen können, sind sogenannte *cognitive tools* (Lajoie & Derry, 1993; van Joolingen, 1999; Veermans et al., 2006). Beispiele für diese *tools* sind ein Hypothesennotizblock zum optionalen Notieren von Hypothesen (de Jong & Njoo, 1992) oder dargebotene Elemente von Hypothesen, die nur noch ergänzt oder richtig zusammengestellt werden müssen (Shute & Glaser, 1990; van Joolingen & de Jong, 1991, 1993). Teilweise werden auch schon vollständige Hypothesen vorformuliert und zur Auswahl gestellt (Njoo & de Jong, 1993).

Andere Hilfsangebote können sogenannte *assignments* sein, also kleine Aufgaben beziehungsweise Anweisungen (de Jong et al., 1998, 1999). Diese helfen dem Lerner zu entscheiden, was er als nächstes tun soll. Bei dieser Art der Unterstützung ist aber darauf zu achten, dass das Lernen nicht nur noch als fremdreguliert wahrgenommen wird oder die *assignments* als Tests verstanden werden. De Jong et al. (1998, 1999) fanden, dass die Lerner, die mit diesen *assignments* lernten, in Tests zum intuitiven Wissen (vgl. Swaak & de Jong, 1996) besser abschnitten als Lerner ohne *assignments*. Wobei die *assignments* nur förderlich waren, wenn sie optional bearbeitet werden konnten, der Lerner also die Freiheit und Kontrolle darüber behielt, welche er nutzt (Swaak et al., 1997, nach de Jong et al., 1998).

Auch Lerntagebücher, Lernprotokolle und Portfolios werden während des Lernens eingesetzt. Laut Landmann und Schmitz (2007, nach Niegemann, 2008a) handelt es sich dabei um effektive Methoden zur Förderung des Selbstbeobachtens und Reflektierens des Lernverhaltens.

Prompting

Eine häufig untersuchte, meist effektive Form der Unterstützung ist das sogenannte Prompting beziehungsweise das Darbieten von Prompts (engl.: Aufforderungen) (vgl. Atkinson, Renkl & Merrill, 2003; Azevedo et al., 2004a; Bannert, 2003; Beradi-Coletta, Buyer, Dominowski & Rellinger, 1995; Berthold, Nückles & Renkl, 2007; Chi et al., 1994; Davis & Linn, 2000; Gerjets, Scheiter & Schuh, 2005; Lin & Lehman, 1999; Puntambekar

& du Boulay, 1997; Renkl, Atkinson & Maier, 2000; Rosenshine, Meister & Chapman, 1996; Schwonke, Hauser, Nückles & Renkl, 2006; Simons & de Jong, 1992; Thillmann, 2008; Veenman, 1993). Es handelt sich dabei um eine instruktionale Methode, welche die Lerner während des Lernens zu kognitiven, metakognitiven oder motivationalen Prozessen auffordert beziehungsweise anregt. Bei diesem Unterstützungsansatz wird davon ausgegangen, dass Lerner über das nötige (strategische) Wissen verfügen, es aber nicht anwenden. Es ist also als Maßnahme angebracht, wenn ein sogenanntes Produktionsdefizit (vgl. Kapitel 3) vorliegt (King, 1992; Pressley et al., 1992; Reigeluth & Stein, 1983).

Prompts können so gestaltet sein, dass sie unterschiedliche Aspekte anregen. So regen sogenannte Selbsterklärungsprompts zur Reflexion an, andere Prompts zielen darauf ab, regulative Prozesse, wie Planung, Ziele Setzen und Monitoring anzuregen (de Jong & van Joolingen, 1998).

Formuliert sind Prompts meist entweder in Form von Lernfragen, die man sich selbst stellt, oder in Form von Hinweisen bzw. Tipps. Um Lerner beim Gestalten ihrer Experimente zu unterstützen, können beispielsweise Prompts in Form von Hinweisen gegeben werden, die die IVK-Strategie erklären (vgl. de Jong & van Joolingen, 1998; Lin & Lehman, 1999; Thillmann, 2008).

Prinzipiell können Prompts durch menschliche Tutoren (vgl. Azevedo et al., 2004a) oder auch computerbasiert dargeboten werden (z.B. Bannert, 2003). Vor allem letzteres wurde in den letzten Jahren verstärkt untersucht.

Bei Bannert (2003) heißt es, dass in Prompting-Studien mit computerbasierten Lernumgebungen die Wirksamkeit dieser Unterstützungsmaßnahmen zumindest teilweise bestätigt werden konnte. Bei den Studien ist darauf zu achten, worauf sich die Prompts beziehen und bezüglich welcher Lernerfolgs- bzw. Lernprozessmaße sie sich als förderlich erweisen. So verwendeten White und Frederiksen (1998) Prompts, die die Schüler aufforderten ihren Lernprozess und ihre Lernprodukte selbst zu bewerten, und konnten damit den Bewertungsprozess fördern. Bannert (2003) zeigte in ihrer Studie, dass die Gruppe, die mit metakognitiven Prompts lernte, strategischeres Lernverhalten und eine bessere Leistung im Anwendungswissen (im Sinne einer Transferleistung) aufwies. Bei Lin und Lehman (1999) wurden zum Lernen mit computerbasierten Experimentierumgebungen drei Arten von Prompts formuliert. Getestet wurden Prompts, die aufforderten A) Lernaktivitäten zu begründen und zu überwachen, B) sich Regeln und Prozeduren der Wissensdomäne zu erklären und C) den emotional-motivationalen Zustand zu überwachen. Die Gruppen mit den Prompts waren in dieser Studie tendenziell besser als

die Kontrollgruppe ohne Prompts. Ebenfalls im Bereich des SRL durch Experimentieren konnte Thillmann (2008) mit Hilfe von Prompts, formuliert in Form von Tipps, die Anwendung der IVK-Strategie fördern. Außerdem zeigte sich ein höherer Lernerfolg beim Lernen mit an den optimalen Verlauf der Lernprozessregulation angepassten Prompts als wenn dieselben Prompts zu anderen Zeitpunkten des Lernprozesses gegeben wurden.

Einige Autoren verwenden ebenfalls Prompts kombinieren diese aber mit weiteren Hilfen wie Feedback (siehe hierzu auch Kapitel 5.3). Die Quantität und Qualität des Monitoring konnte bei Manlove et al. (2007) beispielsweise verbessert werden durch eine Kombination aus direktem Feedback und Prompts. Die Prompts forderten dabei auf A) sich die Ergebnisse der Selbstbeobachtung zu notieren, B) eine Vorlage zur Berichterstattung zu benutzen, C) Selbsterklärungen zu geben oder D) spezifische Strategien darzubieten, um Fehler zu erkennen. Es wurde in dieser Studie nur diese kombinierte komplexe Unterstützungsmaßnahme im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Unterstützung untersucht. Trotz Vorteile für die Experimentalgruppe im Monitoring, konnte die Kontrollgruppe bessere Modelle, die das konzeptuelle inhaltsspezifische Wissen widerspiegeln, entwickeln. Das mag daran liegen, dass die Unterstützung auf die Regulation und nicht auf den Inhalt abzielte. Die Autoren vermuten, dass bei leistungsstarken Schülern die Unterstützung eventuell zum Konflikt mit den eigenen regulativen Handlungen geführt haben könnte. Bei leistungsschwachen Schülern dagegen könnte die Menge an Unterstützung zur Überforderung geführt haben. Sie schlagen in diesem Fall adaptive (siehe hierzu Abschnitt 5.2.2) und weniger aufdringliche Formen der Unterstützung vor.

Van den Boom, Paas, van Merriënboer und van Gog (2004) untersuchten in einer web-basierten Lernumgebung die Wirksamkeit von Prompts, die die Reflexion anregen sollten, in Kombination mit Tutor-Feedback bezüglich dieser Selbstreflexion. Sie nahmen an, dass die Qualität der Reflexion, die aufgrund der Prompts stattfindet, durch externes Feedback beeinflusst werden kann. Insgesamt konnten sie allerdings in keiner Gruppe (ob mit oder ohne zusätzliches Feedback) Effekte auf die Lernleistung nachweisen. Die Autoren gehen davon aus, dass die kurze Interventionszeit nicht ausreichte, um Effekte auf die Lernleistung finden zu können. Es zeigte sich allerdings ein positiver Haupteffekt für das Tutor-Feedback bezüglich metakognitiver Regulationsstrategien, die über einen self-report Fragebogen erfasst wurden. Lernprozessmaße, die die tatsächliche Nutzung von Strategien wiedergeben, wurden aber nicht erhoben.

Bannert (2003) fasst Studien zu metakognitiven Prompts zusammen und stellt fest, sie seien vor allem wirksam bei ausreichend intelligenten, älteren Lernenden mit einem gewissen Ausmaß an Vorwissen bei mittelschweren Aufgaben (vgl. Puntambekar & du Boulay, 1997; Veenman, 1993). Außerdem vermutet Bannert motivationale Einflussgrößen als Begründung, warum manche Probanden diese Hilfen nicht adäquat umsetzen. Sie schlägt deshalb vor die aktuelle Motivation in Studien mit zu erfassen.

Eine mögliche Erklärung dafür, warum Prompts während des Lernens lernförderlich wirken, ist, dass sie die Aufmerksamkeit aufrechterhalten und motivationsförderlich sowie metakognitiv anregend sein können. Dadurch könnte es dazu kommen, dass Lerner sich mehr mit dem Lerngegenstand auseinandersetzen, und es könnte so sicher gestellt werden, dass nicht zu viel Information auf einmal verarbeitet und erinnert werden muss (Thillmann, 2008).

Prompts sind also eine ökonomische Methode der Unterstützung während des Lernens, die sich häufig, zumindest unter bestimmten Bedingungen, als wirksam erwies. So scheinen Prompts vor allem dann hilfreich zu sein, wenn sie weder zu Überforderung noch zum Konflikt mit den eigenen regulativen Handlungen führen und wenn der Lerner ausreichend motiviert ist, diese Hilfen zu nutzen. Der folgende Abschnitt zeigt, dass dieses durch adaptive Formen der Unterstützung erreicht werden könnte.

5.2.2 Adaptive Unterstützung

In hypermedialen Lernumgebungen zeigt nicht-adaptive Unterstützung, also statische, vorher festgesetzte Unterstützung, gemischte Ergebnisse bezüglich ihrer Effektivität (Azevedo et al., 2004a). Die Erklärung dafür sehen Forscher darin, dass die Unterstützung sich nicht nach den individuellen Lernerbedürfnissen richtet und nicht das regulative Verhalten der Lerner unterstützt. Dagegen ist adaptive Unterstützung geeigneter, um SRL zu unterstützen, weil es besser auf die Bedürfnisse der Lerner abgestimmt ist (Azevedo et al., 2004a; Mandl et al., 1997).

Leutner (1992) beschreibt adaptive Lehrsysteme als Lehrsysteme, die sich im Verlauf des Lehrens automatisch an den veränderlichen Lehrbedarf des Lernenden anpassen. Meta-Analysen konnten zeigen, dass ein Lehrsystem mit adaptiv gestalteter Lehrfunktion zu einem höheren Lernerfolg führt als ein Lehrsystem ohne diese adaptive Lehrfunktion (Leutner, 1992). Leutner (1992, 1997) unterscheidet zwischen Mikro-Adaptation und Makro-Adaptation. Ein System ist dann mikro-adaptiv, wenn es sich selbstständig an

veränderte Bedingungen anpassen kann und diese Anpassung in sehr kurzen zeitlichen Abständen stetig überprüft und aktualisiert wird. Makro-Adaptation bezeichnet dagegen Entscheidungen, die nur einmal vor Beginn einer Unterrichtseinheit getroffen werden. Sie ist nur sinnvoll, wenn an Lernereigenschaften adaptiert wird, die sich im Verlauf des Lernprozesses nicht ändern.

So wie das Design von Lernumgebungen zum Beispiel Lehrziel, Lehrmethode und Lehrzeit an einzelne Lerner angepasst werden können, kann auch das Design der Unterstützungsmaßnahmen beim selbstregulierten Lernen an den individuellen Lerner angepasst werden. Das bedeutet, nicht jeder Lerner erhält die gleiche Unterstützung, sondern entsprechend seiner individuellen Lernereigenschaften oder seines individuellen Verhaltens, beispielsweise angepasst ans Vorwissen, den motivationalen Zustand oder die gezeigte Strategienutzung. Hier sieht de Jong (2005) Grenzen der bisherigen Forschung. Hilfen sind bisher immer nur selten adaptiv bezogen auf Wissen, Fertigkeiten und Verhalten des Lerners. Der Autor fordert deshalb, die Unterstützung an das tatsächliche Verhalten der Lerner, an das Vorwissen der Lerner und an die Experimentierfähigkeiten der Lerner anzupassen.

Gerade beim SRL durch Experimentieren ist nach Leutner (2004) mikro-adaptive Unterstützung angebracht. Sie sollte gegeben werden, wenn Lerner falsche oder wenig effektive Entscheidungen während des Lernprozesses treffen, was häufig vorkommt. Es geht also darum prozessorientierte Interventionen einzusetzen, bei denen die Überprüfung nicht erst beim Produkt des Lernens stattfindet, sondern während der einzelnen Schritte des Strategieeinsatzes. So kann, wenn nötig, direkt korrigiert und schlechten Lernergebnissen vorgebeugt werden. Verschiedene Autoren plädieren deshalb für einen prozessorientierten Ansatz, also für eine Förderung der Regulation auf der Mikroebene (vgl. Butler & Winne, 1995; Leutner & Leopold, 2006; Schreiber, 1998). Eine Unterstützung auf dieser Ebene hilft dem Lerner beim Monitoring und somit bei der Regulation seines Lernens. Prozessorientierte Interventionen zur Regulation des Strategieeinsatzes haben sich bereits für SRL mit Texten als effektiv erwiesen (vgl. Leopold & Leutner, 2004; Leutner & Leopold, 2003).

Adaptive Unterstützung kann dafür sorgen, dass nur die Hilfen oder Hinweise gegeben werden, die der Lerner wirklich braucht und zwar zu dem Zeitpunkt, wann er sie braucht. Das hat den Vorteil, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses nicht unnötig stark belastet wird (Schweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Die bessere Abstimmung auf die Lerner-Bedürfnisse führt außerdem zu einer stärkeren Überzeugung der Lerner, dass die

angebotene Unterstützung hilfreich ist (Schwonke et al., 2006). Diese Überzeugung sichert wiederum die Motivation, sich mit diesen Hilfen oder neu angebotenen Strategien auseinanderzusetzen. Zudem ist diese Überzeugung der Lerner entscheidend für die Effektivität von Unterstützungsmaßnahmen (King, 1994; O'Sullivan & Pressley, 1984; Pressley, Borkowski & O'Sullivan, 1984).

Allerdings verwenden bisher nur wenige Ansätze adaptive Unterstützungsmaßnahmen im Sinne einer Mikro-Adaptation, die also an den individuellen Lernprozess adaptiert sind und während des Lernens präsentiert werden (de Jong, 2005; Mandl et al., 1997). Entsprechend gibt es auch erst wenige Studien, die die Effektivität von adaptiver Unterstützung empirisch nachweisen (Azevedo et al., 2004a). Azevedo et al. (2004a) konnten in einer hypermedialen Lernumgebung durch mikro-adaptive Unterstützung das Monitoring und den effektiven Strategiegebrauch sowie die Lernergebnisse verbessern. Die Experimentalgruppe erhielt die adaptive Unterstützung durch einen menschlichen Tutor, der bei verschiedenen Aspekten des SRL, zum Beispiel beim Planen oder Monitoring, Hilfestellung gab.

Computerbasierte adaptive Unterstützung ist im Gegensatz zu menschlichen Tutoren zwar weniger sensitiv und weniger optimal beim Analysieren und Nutzen aller vorhandenen Informationen (Friedrich & Mandl, 1997; Mandl et al., 1997), aber nach der Implementierung ist ihr Einsatz in der Durchführung wenig aufwendig und nach bestimmten Algorithmen objektiv festlegbar. Solche computerbasierten adaptiven Hilfen sind selten auf Lernstrategien hin ausgerichtet, sondern eher auf inhaltliches Wissen (vgl. Leutner, 1992). Eine Ausnahme stellt die Studie von Schwonke et al. (2006) dar. Die Autoren haben adaptive Unterstützung in Form von adaptiven Prompts in einer computerbasierten Lernumgebung zum Schreiben von Lernprotokollen untersucht, wobei die Prompts an die individuellen Ergebnisse der Lerner aus einem Lernstrategiefragebogen und einem metakognitiven Strategiewissenstest adaptiert waren. Insofern handelt es sich allerdings um makro-adaptive Unterstützung, da sie an Tests adaptiert ist, die vor der Lerneinheit erfasst wurden. Die Autoren fanden, dass sowohl die Qualität der Lernprotokolle als auch das Verständnis bei den Lernern mit adaptiven Prompts besser waren als bei den Lernern mit nicht-adaptiven Prompts. Zudem wurden die adaptiven Prompts als unterstützender wahrgenommen als die nicht-adaptiven Prompts.

Da bisher selten adaptiv unterstützt wurde und wenn dann eher makro-adaptiv (z.B. Schwonke et al., 2006), bleibt empirisch zu prüfen, wie effektiv

Unterstützungsmaßnahmen sind, die mikro-adaptiv bezüglich des tatsächlich gezeigten individuellen Strategiegebrauchs sind.

Ein seltenes Beispiel für mikro-adaptive computerbasierte Unterstützung zeigt die Studie von Bell und Kozlowski (2002), in der es darum ging mit einer Computersimulation Radarzielverfolgung zu lernen. Sie nutzten die Möglichkeit computerbasierten Lernens dafür, die individuelle Entwicklung von Lernern zu messen und darauf basierend mikro-adaptive Unterstützung in Form von Empfehlungen zu geben. Die Autoren nennen diese Form der Unterstützung *adaptive guidance*. Dabei handelt es sich im Grunde um Feedback mit zusätzlichen Informationen und Vorschlägen, was als nächstes geübt oder studiert werden soll, die an das gezeigte Verhalten der Lerner angepasst sind. Im Vergleich zum Lernen ohne diese adaptiven Vorschläge erwies sich diese Art der Unterstützung als effektiver für das Basiswissen, das strategische Wissen und den Transfer. Mit der Möglichkeit durch Feedback adaptiv zu unterstützen, befasst sich das nun folgende Unterkapitel 5.3.

5.3 Feedback als Unterstützung des Lernens

Das vorherige Unterkapitel zeigte bereits verschiedene Maßnahmen zur Unterstützung des SRL durch Experimentieren auf. Es wurde deutlich, dass es sinnvoll ist, adaptive Unterstützung während des Lernens zu geben, die Lerner als hilfreich einschätzen. Zudem ist es aufgrund seiner Bedeutung für das SRL sinnvoll, wenn die Unterstützung beim Monitoring-Prozess ansetzt. Wie dieses Unterkapitel aufzeigen wird, ist das Präsentieren von externem Feedback während des Lernens eine Möglichkeit adaptiver Unterstützung, die den Monitoring-Prozess unterstützt.

Der adaptive Charakter von Feedback wird in der Definition von Mason und Bruning (2001) deutlich, hier wird Feedback definiert als “any message generated in response to a learner’s action.” (S. 1). Wie im Grunde das Wort bereits impliziert, ist bei Feedback der Rückbezug zu vorher gezeigtem Verhalten (z.B. einer gegebenen Antwort) als adaptives Element enthalten. Auch in der konkreteren Definition von Hattie und Timperley (2007) ist Feedback adaptierte Information. Sie bezeichnen Feedback als Information, die von einem Vermittler geliefert wird und sich auf Aspekte von jemandes Leistung oder Verständnis bezieht. Bei der Definition von Shute (2008) kommt der Unterstützungsaspekt hinzu. Feedback wird hier verstanden als Information, die dem Lerner mit der Absicht, sein Denken oder Verhalten zu verändern, kommuniziert wird, um das Lernen zu verbessern.

Dabei kann Feedback verschiedene Informationen mit einschließen, nicht nur zur Richtigkeit einer Antwort, sondern zum Beispiel zu Präzision oder Rechtzeitigkeit oder auch Informationen wie motivationale Botschaften oder Ratschläge (Hoska, 1993; Sales, 1993).

Im Folgenden wird zunächst beschrieben, welche verschiedenen Arten von Feedback üblicherweise unterschieden werden. Anschließend wird dann theoretisch begründet, warum Feedback geeignet ist, den Monitoring-Prozess zu unterstützen, indem die Rolle von Feedback beim SRL beleuchtet wird. Es folgen zusammengefasste Ergebnisse aus der bisherigen, sehr umfangreichen Feedback-Forschung dazu, wie und unter welchen Bedingungen diese Feedbackarten wirksam sind.

5.3.1 Arten von Feedback

Feedback-Forschung hat bereits eine lange Geschichte und reicht zurück zu den Anfängen der Psychologie. Während zu Beginn, vor allem im Behaviorismus, Feedback als Verstärker angesehen wurde, ist diese Sicht mittlerweile überholt und durch empirische Daten nicht belegbar (Kulhavy & Wager, 1993; Musch, 1999; Mory, 2004). Seit den 1970er und 1980er Jahren betonen die kognitivistischen Lerntheorien die informative Wirkung von Feedback und die Funktion Misskonzepte bewusst zu machen, Fehler zu identifizieren und zu korrigieren (Kulhavy & Stock, 1989; Mory, 2004; Musch, 1999). Bei Krause, Stark und Mandl (2004) heißt es: „Es wird davon ausgegangen, dass Feedback Diskrepanzen zwischen erbrachter und angestrebter Leistung aufzeigt und der Fehlerkorrektur dient.“ (S.127). So lernen vor allem diejenigen aus Feedback, die Fehler machen (Dempsey, Driscoll & Swindell, 1993). Feedback spielt also eine bedeutsame Rolle, wenn es darum geht, eine angemessene Fehlerkultur zu fördern, in der Fehler als Lernchancen begriffen werden (Oser & Spychiger, 2005). Aus konstruktivistischer Sicht kann Feedback als Angebot gesehen werden, das Lerner in verschiedener Form für ihre Wissenskonstruktion nutzen können (Krause et al., 2004). Feedback dient bei dieser Betrachtungsweise insofern auch als ein Werkzeug zur Selbstanalyse (Mory, 2004; siehe hierzu auch Abschnitt 5.3.2).

Da Feedback meist aus dieser informativen Perspektive betrachtet wird (Mory, 2004), wird auch häufig von informativem Feedback gesprochen. Informatives Feedback kann während oder nach einer Aufgabenbearbeitung gegeben werden. Es enthält Informationen, die eine mögliche Diskrepanz zwischen Soll- und Ist-Zustand aufzeigen sollen. Negatives Feedback

zeigt eine solche Diskrepanz auf. Es weist darauf hin, dass etwas korrigiert werden muss. Positives Feedback bestätigt dagegen die Richtigkeit des Ergebnisses beziehungsweise des gezeigten Verhaltens. Nach Kulhavy und Stock (1989) enthält Feedback zwei Arten von Informationen, erstens die einfache Beurteilung richtig oder falsch (Verification) und zweitens die Komponente, die Hinweise liefert, um den Lerner zur richtigen Antwort zu führen (Elaboration). Um einer instruktionalen Funktion nachzukommen, sollte diese zweite Komponente Informationen liefern, die sich spezifisch auf eine Aufgabe oder einen Lernprozess beziehen und die die Lücke schließen zwischen dem, was verstanden wurde und dem, was verstanden werden soll (Sadler, 1989).

Feedback kann also viele verschiedene Informationen enthalten. Feedbackarten werden demnach traditionell auch nach dem Ausmaß der enthaltenen Informationen, sprich ihrer Elaboriertheit, unterschieden (Bangert-Drowns, Kulik, Kulik & Morgan, 1991; Butler & Winne, 1995; Dempsey et al., 1993; Kulhavy & Stock, 1989; Narciss, 2006). Wenn Feedback nach seinem Informationsgehalt klassifiziert wird, ist in einigen Studien auch von erklärendem (statt elaboriertem) Feedback die Rede oder es wird von der Spezifität des Feedbacks gesprochen. Verschiedene Formen, die nach ihrem Informationsgehalt unterschieden werden, lauten:

- a) *Knowledge of result* (KOR oder KR): Der Lerner wird nur darüber informiert, ob seine Antwort richtig oder falsch ist.
- b) *Knowledge of performance* (KP): Es wird nach mehreren Lernaufgaben eine summative Rückmeldung über den erreichten Leistungsstand gegeben (z.B. Angabe, wie viel Prozent richtig gelöst wurde).
- c) *Knowledge of correct result* (KCR)/ korrektives Feedback: Zusätzlich zur Information, ob die Antwort richtig oder falsch ist, wird bei einer falschen Antwort die richtige Antwort genannt.
- d) *Answer until correct* (AUC): Hierbei wird KR Feedback solange wiederholt gegeben, bis der Lerner die korrekte Antwort selbst gefunden hat.
- e) *Elaborated feedback*: Der Lerner erfährt zusätzliche Informationen darüber, warum seine Antwort richtig oder falsch war. Hierbei lassen sich verschiedene Arten unterscheiden:
 - 1. *Task specific elaboration*: Eigentlich kein wirkliches elaboriertes Feedback, denn dem Lerner wird lediglich die richtige Antwort verdeutlicht, jedoch nicht erläutert.

2. *Instruction based elaboration*: Die Erläuterung der richtigen beziehungsweise falschen Antwort basiert lediglich auf dem ursprünglichen Lernmaterial. Es gibt keine neuen Informationen.

3. *Extra-instructional elaboration*: In der Erläuterung werden dem Lerner neue zusätzliche Informationen zur Verfügung gestellt.

Narciss (2004, 2006) versteht unter dem Begriff ‚informatives tutorielles Feedback‘ elaboriertes Feedback, das strategische Informationen zur Fehlerkorrektur, zur erreichten Leistung und zur Angemessenheit von Lern- und Arbeitsstrategien gibt, aber es wird nicht unmittelbar die Lösung geboten. Andere Autoren bezeichnen diese Art von Feedback auch als *bug-related* Feedback (vgl. Mason & Bruning, 2001). Narciss (2006) meint, diese Form des Feedbacks sollte vor allem bei komplexen computerbasierten Lernaufgaben effektiv für das Lernen sein.

Feedback kann auch nach anderen Aspekten kategorisiert werden. So gibt es zum Beispiel verschiedene Formen motivationalen Feedbacks (vgl. Narciss, 2006), auf die hier aber nicht näher eingegangen werden soll. Außerdem kann man nach der Präsentationsform des Feedbacks kategorisieren, zum Beispiel in visuell (Text und oder Grafiken) oder auditiv dargebotenes Feedback. Unterscheiden kann man zudem danach, von wem das Feedback gegeben wird. Damit ist vor allem die Unterscheidung zwischen computerbasiertem Feedback und Feedback, das von einem Menschen (z.B. Lehrer, Tutor oder Peers) gegeben wird, angesprochen. Computerbasiertes Feedback hat Vorteile. Es unterliegt zum Beispiel keinem Beurteilungs-Bias, somit ist es objektiv und wird auch als solches von den Rezipienten wahrgenommen.

Obwohl Feedback, wie bereits angesprochen, von seiner Definition her bereits einen adaptiven Charakter besitzt, unterscheiden Forscher trotzdem zwischen adaptivem, also individuell-adaptivem Feedback, was an die Reaktion des Lerners angepasst ist, und nicht-adaptivem (auch standardisiert genannt) Feedback. Hierbei erhalten alle Lerner dasselbe Feedback, zum Beispiel die richtige Lösung, dargeboten. Adaptives Feedback ist dagegen dynamisch, es ermöglicht veränderbare, angepasste Rückmeldungen. Die Adaptivität kann sich dabei auf verschiedene Aspekte beziehen, zum Beispiel kann das Feedback angepasst sein an individuelle Eigenschaften des Lerners (z.B. bezogen auf Lernstile oder Vorwissen) oder an sein Leistungsverhalten, aber auch an die Aufgabe oder Umgebung (vgl. Vasilyeva, Puuronen, Pechenizkiy & Räsänen, 2007). Gerade im Bereich computerbasierten Lernens sind die technischen Möglichkeiten vorhanden, adaptives Feedback umzusetzen. Der Computer kann die Reaktionen der Lerner präzise aufzeichnen

und Feedback an veränderte Bedürfnisse der Lerner in interaktiven Lernumgebungen fast sofortig anpassen, dennoch wird bisher selten solch ein adaptives Feedback gestaltet (Mason & Bruning, 2001; Mory, 2004).

Die Taxonomie von Vasilyeva et al. (2007) zu adaptivem Feedback in Abbildung 5.1 umfasst bereits beschriebene Aspekte und zeigt auf, dass weitere Kategorisierungen von Feedback möglich sind, wie zum Beispiel nach der Funktion, die das Feedback erfüllen soll. Während Vasilyeva et al. (2007) neun Funktionen von Feedback nennen (siehe Abbildung 5.1), treffen Narciss und Huth (2004) hierbei eine gröbere Unterteilung in kognitive, metakognitive und motivationale Funktion. Ein anderes Beispiel der Unterteilung ist der Zeitpunkt, wann Feedback dargeboten wird. Dieser Frage nach *immediate* (sofortigem) oder *delayed* (verzögertem) Feedback wurde in vielen Studien nachgegangen (vgl. Kulhavy & Wager, 1993; Musch, 1999).

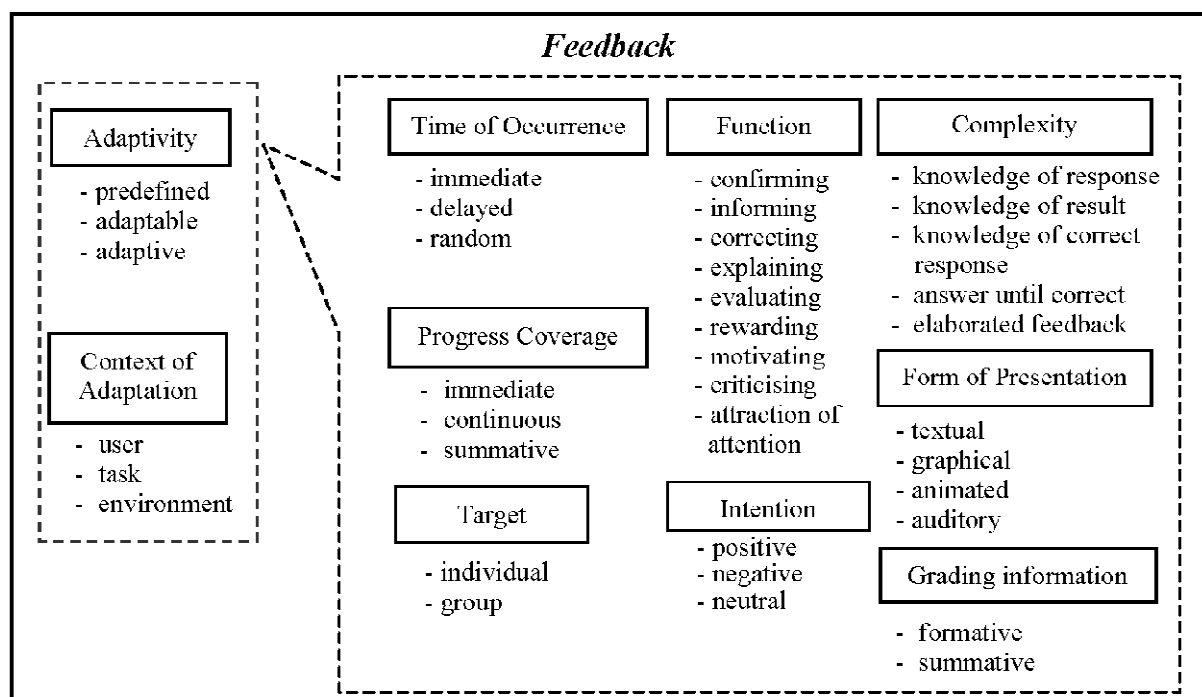


Abbildung 5.1: Taxonomie adaptiven Feedbacks (nach Vasilyeva et al., 2007; S.343)

Darüber hinaus sind weitere Unterscheidungen, wie zum Beispiel nach der Bezugsnorm (kriterial, sozial oder individuell), denkbar. Bei einer kriterialen Bezugsnorm bezieht sich die Rückmeldung auf einen Vergleich mit einem festgelegten Kriterium (z.B. Lernziel). Bei der sozialen Bezugsnorm geht es um einen Vergleich innerhalb einer sozialen Gruppe (z.B. Lerngruppe, Schulklasse). Dagegen geht es bei der individuellen Bezugsnorm um den Vergleich des Lerners mit sich selbst zu einem früheren Zeitpunkt. Studien haben gezeigt,

dass eine individuelle und auch eine kriteriale Bezugsnorm positive Effekte auf die Leistung zeigen, eine soziale Bezugsnorm wirkt sich dagegen eher nachteilig aus (Kluger & DeNisi, 1996; Krampen, 1987; Rheinberg, 1998). Eine individuelle Bezugsnorm hat zudem zusätzliche positive Auswirkungen auf Selbstwertgefühl, Attributionen, Leistungsmotivation und Selbstwirksamkeitserwartung (Hartinger & Fölling-Albers, 2002; Krampen, 1987; Rheinberg, 1998). Neben den genannten existieren noch zahlreiche weitere Möglichkeiten, Arten von Feedback einzuteilen. Auf eine weitere Auflistung dieser Möglichkeiten wird an dieser Stelle jedoch verzichtet, stattdessen wird im Folgenden die Vereinbarkeit von Feedback und SRL erarbeitet.

5.3.2 Feedback und SRL

Beim SRL ist zwischen internem und externem Feedback zu unterscheiden. Internes Feedback ist ein bedeutender Bestandteil von Modellen zum SRL. Es wird beim Monitoring-Prozess zu Strategiewahl und -anwendung von dem Lerner durch einen „inneren Dialog“ selbst erzeugt (Butler & Winne, 1995; Narciss, 2006; vgl. Kapitel 2). Sich selbst Feedback zu geben, stellt eine hohe Anforderung für den Lerner dar. Externes Feedback kann diesen Prozess von außen unterstützen. Wird einem Lerner externes Feedback gegeben, kann dieses das interne Feedback bestätigen, ergänzen oder ihm widersprechen und es so überschreiben oder restrukturieren (Butler & Winne, 1995; Narciss, 2006; van den Boom et al., 2004). Folgendes Zitat von Winne (1996) in Anlehnung an Carver und Scheier beschreibt Feedback beim SRL so: “In SRL, feedback, whether self-generated or externally provided, is information that updates a task’s status and that metacognitive monitoring compares to the learner’s model of task and self (Carver & Scheier, 1990).” (S.347). Externes Feedback kann folglich wie internes Feedback dazu benutzt werden, die Leistung gegenüber den gesetzten Zielen zu evaluieren (Kluger & DeNisi, 1996).

Die Übereinstimmung von internem und externem Feedback bestimmt, ebenso wie der Umgang der Lernenden mit möglichen Diskrepanzen, wie externes Feedback wirkt. Die Art des Feedbacks könnte den Umgang mit den Diskrepanzen beeinflussen, indem es motivierend oder hilfreich für den Fortschritt ist. Handelt es sich beim externen Feedback um ein ans individuelle Verhalten adaptierte Feedback, sollten weniger Diskrepanzen zum internen Feedback entstehen als bei nicht-adaptivem Feedback. Zumindest sollten entstehende Diskrepanzen darauf beruhen, dass Lerner nicht in der Lage sind, sich selbst

angemessenes Feedback zu generieren und nicht darauf, dass das Feedback sich nicht wirklich auf die vorangegangenen Handlungen des Lerner bezieht, was bei nicht-adaptivem Feedback vorkommen kann.

Durch Feedback passen Lerner beim Monitoring ihr Wissen und ihre Überzeugungen an, was wiederum nachfolgendes SRL beeinflusst (vgl. Zimmerman & Martinez-Pons, 1990). Bangert-Drowns et al. (1991) sagen: „...[external] feedback can signal an error to students and supply the correct response. The student then initiates some degree of mindful, metacognitively driven knowledge alteration” (S. 234). Externes informatives Feedback kann also den Monitoring-Prozess und somit andere regulative Prozesse des SRL in Gang setzen und unterstützen (Bangert-Drowns et al., 1991). So konnten Schauble, Raghavan und Glaser (1993) erfolgreich das Monitoring durch Feedback über bisheriges Verhalten und Hinweise zur Relevanz des Verhaltens bezüglich der Lernziele unterstützen. Besonders wenn das interne Feedback nicht mit dem externem Feedback übereinstimmt, es also zu Fehlpassungen bei der Kalibrierung (*inadequacies of calibration*) kommt, wird eine Art Metamonitoring in Gang gesetzt. Es führt zu mehr Zeitaufwand beim Bearbeiten von Feedbackinhalten und kann so zu effektiverer Aufgabenbearbeitung führen (Butler & Winne, 1995).

Externes Feedback kann durch objektive Informationen bei vielen Problemen oder Schwierigkeiten des SRL ansetzen, beispielsweise bei Problemen, die durch inadäquates Monitoring entstehen, wie 1. falsche Klassifikation der Aufgabe und somit Wahl falscher Ziele, das führt zu unangemessenen Taktiken und auch das interne Feedback bietet keine adäquaten Informationen; 2. falsche Wahrnehmung von Hinweisen zur Leistungsvorhersage, der Fortschritt wird falsch eingeschätzt; 3. Überforderung der kognitiven Ressourcen; 4. keine Motivation, Anstrengung für den Strategiegebrauch aufzuwenden (Butler & Winne, 1995). Lerner erkennen zum Teil auch nicht oder nur schwer die Bedingungen, unter denen bestimmte Strategien profitabel sind (Butler & Winne, 1995). Außerdem treffen sie falsche Selbsteinschätzungen beim Beobachten ihres Lernfortschritts und ihrer Leistung, oft überschätzen sie diese (Zimmerman, 1998; Jacobs & Dempsey, 1993). Besonders die richtige Kompetenzwahrnehmung der Lerner ist beim SRL bedeutsam, damit sie ihr zukünftiges Lernen richtig beurteilen können (Hofer et al., 1998). Gerade Lerner mit wenig Vorwissen und wenig Erfahrung im SRL beurteilen ohne externe Hilfe möglicherweise vieles als richtig, was eigentlich falsch ist. Metakognitive Strategien mit Regulationsfunktion helfen beim Fehlerentdecken und -korrigieren. Dieses kann allein selbstgesteuert, aber auch durch Rückmeldung von außen geschehen (Brown,

1984). Die akkurate Selbstwahrnehmung kann also durch externes Feedback unterstützt werden, um Über- und Unterschätzung vorzubeugen. Externes Feedback kann durch die überwachende und anleitende Funktion besonders Novizen (unerfahrene selbstregulierte Lerner) unterstützen und zu Beginn des SRL helfen, bevor die Lerner ihre Fertigkeiten, sich selbst Feedback zu geben, verfeinern und schließlich völlig selbstgesteuert lernen (Brown, 1984; Dempsey et al., 1993; Zimmerman, 1998).

Besonders elaboriertes Feedback kann im Vergleich zu KR-Feedback zusätzlich Informationen geben, die dem Lerner bei der Selbstregulation helfen (Butler & Winne, 1995). Um das Monitoring zu verbessern, schlagen Butler und Winne (1995) kognitives Feedback vor und meinen damit Feedback mit mehr Informationsgehalt als KR(Knowledge of result)-Feedback. Kognitives Feedback kann strategische Informationen zur Aufgabebearbeitung (*task validity feedback*), zur Selbstregulation (*cognitive validity feedback*) und zur Unterstützung der Evaluation der Selbstregulation (*funktional validity feedback*) liefern. *Task validity feedback* scheint dabei am effektivsten zu sein (Butler & Winne, 1995).

Van den Boom et al. (2004) beschreiben für den Kompetenzerwerb beim SRL ein Feedback, das hilft eine Problematik zu erkennen, ohne direkt darauf hinzuweisen, als besonders günstig, denn es stärkt die Reflexionen des Lerners. Die Autoren untersuchten in ihrer Studie Kombinationen aus verschiedenen Prompts und tutoriellem Feedback. Es zeigte sich, dass Feedback sich positiv auf die Regulationsstrategien (Selbstregulation und externale Regulation), gemessen über einen Fragebogen, auswirkte.

Informatives tutorielles Feedback, das nicht einfach nur die korrekte Lösung bietet, sondern Hinweise, wo der Fehler liegt oder welcher Aspekt noch einmal geprüft werden sollte, ist gut vereinbar mit SRL, da es dem Lerner freisteht, diese Hinweise als hilfreich einzustufen und für sich zu nutzen. Dabei werden die Feedback-Informationen durch die existierenden Überzeugungen der Lerner gefiltert, das heißt die Überzeugungen des Lerners (z.B. darüber wie man richtig lernt) beeinflussen die Interpretationen des Feedbacks und somit die Selbstregulation (Butler & Winne, 1995). Für die Wirkung von Feedback ist also das Feedback an sich, aber auch die Wahrnehmung der Lerner zu diesem Feedback entscheidend (Winne, 1996). Wie bei anderen Unterstützungsmaßnahmen muss der Lerner das Feedback als hilfreich einschätzen. Diese Wahrnehmung lässt sich durch adaptive Gestaltung von Feedback fördern (vgl. Abschnitt 5.2.2).

Im folgenden Abschnitt wird eine Form von Feedback beschrieben, die beim SRL helfen kann, die eigene Leistung angemessen einzuschätzen und so zu lernen, sich selbst

angemessenes Feedback zu geben. Es handelt sich um strategiebezogenes, also ein an den Strategiegebrauch adaptiertes Feedback mit zusätzlichen Hinweisen.

Strategiebezogenes Feedback

Meist bezieht sich Feedback auf Lernprodukte, wie Antworten des Lernalers in einem Test oder Problemlösungen. Fast alle Feedback-Studien haben diese Art von Feedback im Fokus. Allerdings ist solch ein produktbezogenes Feedback nicht bei allen Lernformen angemessen. Beim SRL durch Experimentieren scheint vielmehr ein Feedback geeignet, das sich auf den Lernprozess also auf Lernhandlungen bezieht, da während des Lernens keine direkte Abfrage von Lernprodukten stattfindet und diese somit nicht rückgemeldet werden können. Stattdessen kann ein lernprozessbezogenes Feedback Informationen liefern, welche dem Lerner beispielsweise helfen, effektive Methoden und Handlungsalternativen herauszufinden oder Methoden von Experten zu erfahren und zu überdenken (Butler & Winne, 1995; Mory, 2004). Erst seit kurzem, allerdings kaum bei computerbasiertem Feedback, wendet man sich in der Forschung auch solchem prozessbezogenem Feedback zu (Mason & Bruning, 2001). Bereits bei anderen Unterstützungsmaßnahmen hat sich ein prozessorientierter Ansatz als effektiv erwiesen (vgl. Leopold & Leutner, 2004; Leutner & Leopold, 2003; siehe auch Abschnitt 5.2.2). Insofern scheint es sinnvoll, auch Feedback zu gestalten und einzusetzen, welches sich auf den Einsatz von Strategien während des Lernprozesses bezieht (nämlich strategiebezogenes Feedback), anstatt nur am Ende eines Lernprozesses zur Evaluation der Lernprodukte. Es findet bei strategiebezogenem Feedback also ein Abgleich zwischen gezeigtem Strategieverhalten des Lernalers und einem optimalen Strategieverhalten statt. Wenn man durch externes Feedback erfährt, dass das eigene Verhalten nicht optimal ist, kann man sein Wissen über die Angemessenheit der zuvor verwendeten Strategie anpassen und entsprechend verändern. Durch zusätzliche Tipps besteht die Chance zu lernen, welche Strategien stattdessen angebracht wären. Dadurch kann es zu einer verbesserten Strategienutzung kommen, was langfristig auch den Erwerb von Inhaltswissen verbessern sollte.

Wie dieses Unterkapitel zeigt, sind externes Feedback und SRL theoretisch stark miteinander verbunden, aber es gibt dazu noch wenig empirische Studien (Butler & Winne, 1995; Mory, 2004). Hier setzt die vorliegende Arbeit an und untersucht ein eben

beschriebenes strategiebezogenes Feedback als adaptive Unterstützungsmaßnahme, um SRL durch Experimentieren zu fördern (vgl. Kapitel 9).

5.3.3 Wirksamkeit von Feedback

Um einen Überblick über die Vielzahl an Studien in der Feedback-Forschung zu bekommen, kann man mittlerweile auf einige Meta-Analysen (z.B. Bangert-Drowns et al., 1991; Kluger & DeNisi, 1996), zum Teil speziell für den Bereich computerbasierter Instruktion (z.B. Azevedo & Bernard, 1995; Kulik & Kulik, 1988), und auf Überblicksarbeiten (z.B. Mason & Bruning, 2001; Mory, 2004; Shute, 2008) zurückgreifen. Diese dort zusammengefassten Studien zeigen, dass viele Faktoren die Wirkung von Feedback auf Lernleistung, aber auch auf motivationale und affektive Prozesse (vgl. Vollmeyer & Rheinberg, 2005), beeinflussen.

Im letzten Abschnitt wurde aufgezeigt, dass Feedback sich meist auf Lernprodukte bezieht. Damit zusammenhängend wurden bisher auch die Effekte von Feedback häufig nur für Lernprodukte untersucht, im Sinne einer besseren Aufgaben-/Problemlösung. Abgefragt wurde meistens nur die Wiedergabeleistung verbaler Informationen, es wurde nicht getestet, ob neue Fertigkeiten erworben wurden (Mory, 2004). Vollmeyer und Rheinberg (2005) schreiben, „Most studies on feedback interventions analyse the effects on final performance and have no measure for the process, that is, how the learners reached their learning outcome.“ (S. 599).

Die Effektivität von Feedback hängt unter anderem ab von der Feedbackart (z.B. Spezifität, Komplexität, Informationsgehalt), der Aufgabenart (z.B. Lernkontext, Komplexität, Art des zu lernenden Wissens) und von den individuellen Lerner-Voraussetzungen (z.B. kognitive, metakognitive, motivationale). So müssen der instruktionale Kontext und die Eigenschaften der Lerner berücksichtigt werden, damit Feedback bei komplexen Lernaufgaben positive Effekte auf Leistung und Motivation haben kann (Narciss & Huth, 2004). Diese Aspekte sollten aufeinander abgestimmt sein, so dass sich der Informationsgehalt des Feedbacks maximieren kann.

Obwohl Feedback im Allgemeinen lernförderlich zu sein scheint (Dempsey et al., 1993; Shute, 2008), zeigen sich bei den Meta-Analysen von Bangert-Drowns et al. (1991) und Kluger und DeNisi (1996) immerhin bei einem Drittel der untersuchten Studien auch negative Effekte von Feedback. Es gibt verschiedene Erklärungen für diese Effekte. Manchmal wirkt externes Feedback nicht, weil zu viele Faktoren die Wirkung beeinflussen

(z.B. Vorwissen, Verarbeitungstiefe). Es kann dann dazu kommen, dass Feedback ignoriert, zurückgewiesen, als irrelevant betrachtet oder reinterpretiert wird. Krause et al. (2004) nennen motivationale und metakognitive Voraussetzungen der Empfänger als entscheidend dafür, ob Feedback so wie intendiert genutzt wird und somit positiv wirken kann. Weitere Erklärungen für negative beziehungsweise keine Effekte von Feedback werden genannt. So kann externes Feedback einen Lerner, der gerade aktiv im Problemlöseprozess engagiert ist, stören und so Lernen verhindern (Corno & Snow, 1986). Zu langes und kompliziertes Feedback kann dazu führen, dass es nicht genutzt wird, somit kann es nicht lernförderlich sein (Shute, 2008). Bangert-Drowns et al. (1991) argumentieren, dass Feedback dann hinderlich sein kann, wenn es dazu führt, dass Lerner nicht mehr selbst kognitiv aktiv werden müssen. Dieses wäre der Fall, wenn Antworten durch Feedback gegeben werden, bevor der Lerner selbst danach im Gedächtnis suchen konnte, oder wenn die Feedbackbotschaft nicht zu den kognitiven Bedürfnissen der Lerner passt (also zu einfach, zu komplex etc. ist).

Damit Feedback effektiv sein kann, müssen nach Shute (2008) drei Aspekte als Grundvoraussetzungen gegeben sein: 1. der Lerner braucht es, 2. der Lerner erhält es zu der Zeit, wann er es braucht und 3. der Lerner ist in der Lage und bereit es zu nutzen. Shute (2008) gibt in ihrem Überblicksartikel weiterhin Richtlinien, was beachtet werden sollte, um effektives Feedback zu gestalten. Sie nennt Folgendes: Feedback sollte auf die Aufgabe nicht auf den Lerner fokussieren. Es sollte in gut zu handhabenden Einheiten gegeben werden. Es sollte spezifisch und deutlich formuliert sein und schriftlich oder per Computer gegeben werden. Da verschiedene Lernercharakteristika vermutlich mit Feedback interagieren, sollten diese mit erhoben werden, nur so kann man herausfinden, wie Feedback adaptiert werden muss, damit es wirksam wird.

Wirkungsweise von Feedback

Feedback wirkt, indem es Diskrepanzen zwischen dem aktuellen und gewünschten Zustand aufzeigt und so hilft diese zu reduzieren. Feedback ist vor allem dann effektiv, wenn es Informationen dazu liefert, wie man besser vorankommt. In diesem Fall wirkt es auf das Selbstvertrauen und bestärkt den Lerner, sich weiter zu engagieren. Lerner entwickeln durch Feedback Fähigkeiten, eigene Fehler zu entdecken. Sie können zudem Informationen über Strategien erhalten, um die Aufgabe besser zu erledigen. So kann Feedback helfen den eigenen Lernprozess zu überwachen und zu beurteilen. Es unterstützt also das

Monitoring und somit die gesamte Regulation des Lernens (Butler & Winne, 1995; vgl. Abschnitt 5.3.2).

Feedback wirkt also zum einen durch kognitive Prozesse. Diese sind das Restrukturieren des Verstehensprozesses, das Bestätigen, was korrekt und was inkorrekt ist, das Aufzeigen, dass mehr Informationen verfügbar sind oder benötigt werden und das Aufzeigen von neuen Richtungen oder alternativer Strategien, die angewendet werden sollen, um bestimmte Informationen zu verstehen (Hattie & Timperley, 2007).

Zum anderen wirkt Feedback durch affektiv-motivationale Prozesse, wie steigende Anstrengung, Motivation oder Engagement (Hattie & Timperley, 2007). Laut der ‚Cognitive Evaluation Theory‘ von Tuckman und Sexton (1992) verstärkt informatives Feedback die intrinsische Motivation, das Selbstvertrauen und die Selbstwirksamkeit. Bandura (nach Tuckman & Sexton, 1992) sieht Selbstwirksamkeit als Mediator zwischen Wissen über die Leistung (Feedback) und der nachfolgenden Leistung. Gerade für Lerner mit mittlerem Kompetenzgefühl (die, die zwischen Selbstzweifel und Selbstsicherheit schwanken) ist es besonders wichtig zu erfahren, wo sie leistungsmäßig stehen, um ihre Leistung zu maximieren (Tuckman & Sexton, 1992). Informatives Feedback kann also indirekt über seinen Einfluss auf motivationale Variablen positiv auf die Leistung wirken. Feedback hat zudem eine psychologisch beruhigende Wirkung unabhängig davon, ob sich die Leistung tatsächlich verbessert (Ashford & Cummings, 1983). Einen interessanten Effekt von Feedback fanden auch Vollmeyer und Rheinberg (2005). Allein schon die Ankündigung von Feedback führte in ihrer Studie dazu, dass die Lerner mehr systematische Strategien benutzten und motivierter waren, noch bevor sie irgendein Feedback bekamen.

Wenn Feedback richtig eingesetzt wird, kann es Lernern also helfen, besser zu verstehen, sich stärker zu engagieren, effektivere Strategien zu entwickeln und zu lernende Informationen besser zu verarbeiten (Hattie & Timperley, 2007).

Wirkung in Abhängigkeit vom Informationsgehalt des Feedbacks

Unterschiedliche Feedbackarten (siehe 5.3.1) variieren in ihrer Wirksamkeit. So zeigt eine Meta-Analyse von Bangert-Drowns et al. (1991), dass KR-Feedback, also Feedback, welches nur die Informationen richtig oder falsch enthält, im Mittel keinen Effekt auf die Leistung hat, dagegen aber informativere Feedbackarten effektiv sind. Auch andere Studien und Meta-Analysen zeigen die Überlegenheit von stärker elaboriertem Feedback, also Feedback mit hohem Informationsgehalt, gegenüber weniger elaborierten

Feedbackarten (vgl. Azevedo & Bernard, 1995; Kröner, Dörre & Leutner, 2000; Musch, 1999; Moreno, 2004; Moreno & Mayer, 2005). Allerdings nennen einige Autoren auch inkonsistente Ergebnisse und führen Studien an, die nicht zeigen konnten, dass stärker elaboriertes Feedback weniger elaboriertem Feedback überlegen ist (Dempsey et al., 1993; Mory, 2004; Narciss & Huth, 2006). Ein Mehr an Informationen muss sich folglich nicht immer als effektiver erweisen. Dieses könnte durch zu einfache oder spezifische Aufgabeninhalte in den Studien erklärt werden oder dadurch, dass meist nur die Wiedergabeleistung getestet wurde (Bangert-Drowns et al., 1991). Wenn die gegebenen Erklärungen beim elaborierten Feedback nicht spezifisch für die Art des Fehlers sind, bringen sie keinen Vorteil, aber sie führen zu besseren Effekten, wenn sie auf einer Aufgaben- und Fehleranalyse basieren (Bangert-Drowns et al., 1991; Narciss & Huth, 2006). Elaboriertes Feedback scheint vor allem überlegen, wenn Lerner wenig Vorwissen haben und die Aufgabe ungeleitetes Entdecken enthält (Moreno, 2004; Moreno & Mayer, 2005). Moreno (2004) argumentiert, dass elaboriertes Feedback hier den *cognitive load* reduziert, da der Schüler nicht selbst nach einer Erklärung für seine falschen Antworten suchen muss. Dadurch würden Kapazitäten frei für andere kognitive Prozesse, die das Lernen fördern. Die Autorin betont aber auch, dass eine Generalisierung solcher Ergebnisse schwierig ist, da immer nur in einer bestimmten Domäne, eine bestimmte Form von Feedback, an einer bestimmten Lerner-Gruppe untersucht wird.

Stärker elaboriertes Feedback ist also vor allem bei komplexen Aufgaben, in denen es nicht um bloße Wiedergabeleistung geht und zu denen wenig Vorwissen vorliegt, lernförderlicher als andere Feedbackarten. Solch ein informatives tutorielles Feedback, wie es bei Narciss (2006) heißt, wurde allerdings bisher wenig experimentell untersucht. Durch zusätzliche Informationen für künftige Versuche, die ein erfolgreiches Korrigieren von Fehlern oder erfolgreiches Überwinden von Hindernissen unterstützen, sollte es aber Misserfolgserlebnisse reduzieren und intern attribuierbare Erfolge ermöglichen (Narciss, 2006). Nur Informationen zur Richtigkeit der Antwort sind hierbei wenig nützlich (Mason & Bruning, 2001). Lerner wünschen sich zudem stärker elaboriertes und sofortiges Feedback (Mason & Bruning, 2001). Allerdings beeinflusst die Einstellung der Lerner gegenüber dem Feedback nicht unbedingt ihren Lerngewinn (vgl. Pridemore & Klein, 1991, 1995).

Wirkung von Feedback in computer-based instruction (CBI)

In der Meta-Analyse von Kluger und DeNisi (1996) zeigte sich, dass bezüglich der Lernleistung computerbasiertes Feedback effektiver ist als nicht computerbasiertes. Dem computerbasierten Feedback wird mehr vertraut, es führt zu stärkeren Gefühlen der Selbstwirksamkeit und zu stärkerer Strategieentwicklung als Feedback von einem menschlichen Supervisor (Kluger & DeNisi, 1996).

Azevedo und Bernard (1995) berücksichtigten in ihrer Meta-Analyse zur Wirkung von Feedback in Situationen mit computerbasierter Instruktion 22 Studien. Dabei reicht das dort untersuchte Feedback von einfachem KR-Feedback über elaboriertere Formen bis hin zu adaptivem Feedback, welches die individuellen Bedürfnisse der Lerner berücksichtigt. Sie fanden bessere Leistung für die Feedbackbedingungen mit mittleren Effektstärken zwischen .35 und .80. Die effektivsten Feedbackbedingungen sind diejenigen, die stärker elaboriertes Feedback enthalten. Dieses Ergebnis bestätigen Mason und Bruning (2001) in ihrem Überblicksartikel zu Feedback bei computerbasiertem Lernen für die Mehrheit der Studien.

Azevedos und Bernards (1995) Ergebnisse zeigen außerdem einen instruktionalen Vorteil für das sofortige Geben von Feedbackbotschaften im Gegensatz zu verzögertem (vgl. Kulik & Kulik, 1988). Aber auch hier hänge die Wirksamkeit von vielen anderen mediierenden Faktoren ab, vor allem von der Art des Lernens.

Mason und Bruning (2001) schlussfolgern, dass es keine beste Form von Feedback bei computerbasiertem Lernen für alle Lerner und alle Lernprodukte gibt. Sie formulieren aber Entscheidungshilfen, in welcher Situation, welche Art von Feedback angebracht scheint, angefangen vom Leistungslevel der Lerner, über Komplexität der Aufgabe bis hin zum Vorwissen der Lerner.

Trotz der technischen Möglichkeiten, die in CBI liegen, wird immer noch kaum adaptives Feedback gestaltet, das sich an den individuellen Lerner und seine Bedürfnisse anpasst. Eine Ausnahme bildet die Studie von Veermans et al. (2000). Sie untersuchten adaptives Feedback, das sich auf das Experimentierverhalten bezog, um *scientific discovery learning* zu unterstützen (siehe nächster Absatz).

Feedback um SDL zu unterstützen

Veermans et al. (2000) führten eine Studie zur Förderung von SDL durch. Das Lernen in einer computerbasierten Lernumgebung wurde für alle Schüler durch *assignments* (vgl. Abschnitt 5.2.1) unterstützt. Dabei konnten aus einer dargebotenen Auswahl Hypothesen

gewählt werden, die dann durch Experimente auf ihre Korrektheit hin überprüft werden sollten. Dabei bekam die Kontrollgruppe (KG) ein vordefiniertes Feedback zu diesen *assignments*, bezüglich der Richtigkeit der ausgewählten Hypothese und zusätzliche Informationen wie z.B., dass es noch eine präzisere Hypothese gibt. Die Experimentalgruppe (EG) bekam adaptives Feedback dazu, ob die Experimente, die sie zu den *assignments* durchführten, geeignet sind, die Hypothese zu prüfen, beziehungsweise dazu, ob die gezogenen Schlussfolgerungen wirklich zu den gemachten Experimenten passen. Das adaptive Feedback gab wenn nötig Tipps wie „Eine richtige Hypothese muss in allen Fällen zu der richtigen Vorhersage führen.“. Weder ein Test zum definitorischen Wissen noch sogenannte Tests zum intuitiven Wissen, bei denen die Schüler das Resultat aus einer gegebenen Bedingung vorhersagen müssen, zeigten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Allerdings führte die EG mehr Experimente durch und sie verbrachte mehr Zeit damit die Hypothesen zu analysieren als die *assignments* zu lösen. Die KG bearbeitete hingegen signifikant mehr *assignments*. Es zeigte sich, dass nur in der EG die Anzahl der Experimente die Posttest-Werte vorhersagte, während nur in der KG die Anzahl der *assignments* mit den Posttest-Werten korrelierte. Die Autoren schließen daraus, dass unterschiedliche Lernwege in den beiden Gruppen zum Wissenserwerb geführt haben. Sie interpretieren ihre Daten so, dass das adaptive Feedback das Experimentierverhalten unterstützte und so den Wissenserwerb förderte. Die Autoren räumen ein, dass in weiteren Studien explizit die *discovery skills* gemessen werden sollten. Es wurde zudem weder strategisches Wissen noch die Anwendung des Wissens in einer Transfersituation erfasst. Durch das Fehlen einer KG, die ganz ohne Feedback lernt, kann nicht geprüft werden, ob sich hierzu Unterschiede in den Wissenstests gezeigt hätten.

5.4 Zusammenfassung und Fazit

Zu Beginn dieses Kapitels wurde deutlich, dass SRL durch Experimentieren, effektiver ist, wenn es unterstützt wird. Beim SRL führen gute regulative Fähigkeiten, insbesondere gutes Monitoring, zu besseren Lernerfolgen, stellen aber auch hohe Anforderungen an den Lerner (Azevedo et al., 2004a; Lan et al., 1993). Deshalb sollten Unterstützungsmaßnahmen an diesem Prozess ansetzen und darüber den Lernprozess und so die Lernprodukte verbessern. Um das Monitoring zu fördern, sollte Unterstützung auf die Förderung metakognitiven Wissens, wie auch auf dessen Anwendung abzielen, sie

sollte während des Lernens gegeben werden und an das Lernerverhalten adaptiert sein (Wirth et al., 2006).

Um die Effektivität von Unterstützungsmaßnahmen zu überprüfen, sind geeignete Lernerfolgsmaße zu wählen (vgl. de Jong, 2005). Es ist wichtig, Maße für den Lernprozess (z.B. Strategienutzung) und auch für die Lernprodukte (z.B. Wissen) zu erheben, denn eine optimale Unterstützung sollte sich auf beides positiv auswirken sowie den Transfer in neue Situationen erleichtern.

Generell besteht die Herausforderung darin, Unterstützungsmaßnahmen so zu gestalten, dass sie zwar ausreichend unterstützen und auch entsprechend von den Lernern wahrgenommen werden, dabei aber trotzdem das Lernen nicht völlig fremd steuern oder den Lerner zusätzlich kognitiv belasten (Musch, 1999; van Joolingen et al., 2007).

Im Unterkapitel 5.2 ging es darum, verschiedene Unterstützungsformen zu betrachten. Besonders wenn ein Produktionsdefizit (Veenman et al., 2006) vorliegt, ist es sinnvoll Formen der Unterstützung einzusetzen, die während des Lernens gegeben werden (Bannert, 2007). Gerade für das SRL durch Experimentieren wird betont, dass unterstützende Information während des Lernens gegeben werden sollte. Eine viel untersuchte Möglichkeit während des Lernens zu unterstützen sind Prompts, also anregende, auffordernde Botschaften, die dem Lerner zum Beispiel in Form von Fragen oder Tipps dargeboten werden. Durch Prompts konnten in vielen Studien Lernprozesse und zum Teil auch Lernerfolge verbessert werden (vgl. Bannert, 2003).

Dennoch kann es dazu kommen, dass Unterstützungsmaßnahmen nicht wie intendiert benutzt werden und wirken. Um Unterstützung effektiver zu gestalten, wird von Forschern häufig die Möglichkeit genannt, adaptive Formen zu benutzen (Azevedo et al., 2004a; Mandl et al., 1997). Es handelt sich dabei um Unterstützung, die an die individuellen Bedürfnisse des Lerners angepasst ist und dann gegeben wird, wann sie gebraucht wird. Handelt es sich um Unterstützung, die im Sinne einer Mikro-Adaptation immer wieder den individuellen Lernprozess überprüft und sich entsprechend anpasst, sollte dieses besonders effektiv für SRL durch Experimentieren sein (Leutner, 2004). Denn solch ein prozessorientierter Ansatz führt dazu, dass der Strategieeinsatz, wenn nötig, noch während des Lernens überdacht und verbessert werden kann. Eine Anpassung der Unterstützungsmaßnahme an die Lernerbedürfnisse sorgt zudem dafür, dass Lerner die Hilfe auch stärker als unterstützend wahrnehmen (Schwonke et al., 2006). Diese Lernerwahrnehmung ist mitentscheidend für eine positive Wirkung von Unterstützungsmaßnahmen (King, 1994; O'Sullivan & Pressley, 1984; Pressley et al.,

1984). Da bisher wenige Studien solch eine prozessorientierte, mikro-adaptive Unterstützung während des SRL durch Experimentieren untersucht haben, ist die erwartete stärkere Lernförderlichkeit noch empirisch zu bestätigen.

Feedback

Eine Unterstützungsmaßnahme, die am Monitoring-Prozess ansetzt, mikro-adaptiv gestaltet und während des Lernens gegeben werden kann und dabei von Lernern als hilfreich eingeschätzt wird, ist externes Feedback (vgl. Unterkapitel 5.3). Feedback liefert dem Lerner Informationen, die einen Ist-Soll-Vergleich aufzeigen, Fehler und Misskonzepte identifizieren und somit der Korrektur dienen. Dabei unterscheiden Kulhavy und Stock (1989) Informationen zur Beurteilung und Informationen, die zur richtigen Antwort führen. Nach dem Ausmaß der enthaltenen Informationen (Elaboriertheit) können Feedbackarten unterschieden werden. Auf der einen Seite dieser Kategorisierung steht Feedback, das nur die Information richtig oder falsch liefert, auf der anderen Seite steht elaboriertes Feedback mit Hinweisen zur Fehlerkorrektur und zusätzlichen erklärenden Informationen, auch informatives tutorielles Feedback genannt (Narciss, 2004, 2006). Man kann zwischen (individuell-) adaptivem und nicht-adaptivem (standardisiertem) Feedback unterscheiden. Die Adaptivität kann sich hierbei auf verschiedene Aspekte beziehen, beispielsweise auf Vorwissen oder Strategienutzung der Lerner. Das bedeutet, hier bekommt nicht jeder Lerner das gleiche, vordefinierte Feedback, sondern ein an individuelle Kenntnisse oder individuelle Verhaltensweisen angepasstes.

Theoretisch eignet sich externes adaptives Feedback besonders, um das SRL zu unterstützen. Externes Feedback kann beim Monitoring-Prozess, also dort wo internes Feedback entsteht, ansetzen (Butler & Winne, 1995). Es kann das interne Feedback bestätigen, aber auch Diskrepanzen dazu aufzeigen und es somit überarbeiten und korrigieren. Ist das Feedback adaptiv gestaltet, sollte es als hilfreicher von den Lernern wahrgenommen werden und somit auch den Umgang mit Diskrepanzen positiv beeinflussen. Gerade Novizen im SRL betreiben häufig inadäquates Monitoring, beurteilen folglich ihre Leistung nicht richtig, wählen falsche Strategien und sind überfordert, deren Einsatz zu evaluieren. Hierbei hilft externes Feedback, besonders wenn es zusätzliche Informationen enthält, und kann die Fähigkeit, sich selbst angemessenes Feedback zu geben, verbessern. Trotz des theoretisch gut fundierten Zusammenhangs von SRL und externem Feedback, fehlen noch ausreichend empirische Studien dazu (Mory, 2004).

Strategiebezogenes Feedback scheint eine geeignete Form, um SRL durch Experimentieren zu unterstützen. Im Gegensatz zu dem häufig verwendeten produktbezogenem Feedback

folgt strategiebezogenes Feedback auf die beim Lernprozess tatsächlich gezeigten Strategien und bewertet sie in ihrer Angemessenheit. Bisher wurde solch ein Feedback selten empirisch untersucht.

Feedback zeigt häufig positive, zum Teil auch aber keine Effekte (Bangert-Drowns et al., 1991; Dempsey et al., 1993; Kluger & DeNisi, 1996; Shute, 2008). Die Wirkung von unterschiedlichen Feedbackarten ist dabei von vielen Faktoren, wie beispielsweise Aufgabenart oder Lernervoraussetzungen, abhängig. Entscheidend für die Wirksamkeit von Feedback ist, dass der Lerner es braucht, es zu dem Zeitpunkt erhält, wann er es braucht, und er bereit ist, es zu nutzen (Shute, 2008). Letzteres spricht die motivationalen Voraussetzungen der Lerner an. Sie sollten in Feedback-Studien mit erhoben werden.

Feedback wirkt erstens durch kognitive Prozesse, indem es bestätigt, korrigiert, aufzeigt, was zu beachten oder was zu verändern ist. Gerade elaborierteres Feedback kann hierzu besonders beitragen. Zweitens wirkt Feedback über affektiv-motivationale Prozesse. Auch hier ist ein mehr an Informationen hilfreich, Selbstvertrauen und Selbstwirksamkeit und so die Motivation zu erhöhen (Tuckman & Sexton, 1992). Entsprechend zeigte sich in einer Vielzahl von Studien ein Vorteil von stärker elaboriertem Feedback gegenüber Feedback mit minimalen Informationen. Zumindest gilt dieses für komplexere Lernaufgaben und für Lerner mit wenig Vorwissen.

Feedback wurde bei verschiedensten Aufgabenarten untersucht, allerdings selten in komplexeren Lernumgebungen, die höhere Formen des Lernens beinhalten (Mory, 2004). Zwar wurde Feedback häufig erfolgreich bei computerbasiertem Lernen eingesetzt (Azevedo & Bernard, 1995; Kluger & DeNisi, 1996; Mason und Bruning, 2001), aber eher selten bei computerbasierten Lernumgebungen, in denen es um das Erlernen von Experimentierfähigkeiten geht. Zudem wurde in computerbasierten Lernumgebungen bisher, trotz technischer Möglichkeiten, wenig adaptives Feedback umgesetzt. Eine Ausnahme bildet die Studie von Veermans et al. (2000). Sie untersuchten adaptives Feedback im Vergleich zu vorgefertigtem Feedback um SDL zu unterstützen. Auch wenn sich der Wissenserwerb zwischen den beiden Gruppen nicht unterschied, führte das adaptive Feedback zu mehr Aktivität im *discovery*-Prozess. Allerdings wurde kein Transfer in neue Situationen erhoben.

6. Fragestellungen und Hypothesen

Im dargestellten theoretischen Hintergrund mit der dort beschriebenen Forschungslage wurden Merkmale und Anforderungen sowie Schwierigkeiten und Probleme des SRL durch Experimentieren aufgezeigt (vgl. Kapitel 2 bis 4). Es ist dabei deutlich geworden, dass Strategien des SRL durch Experimentieren häufig gar nicht oder fehlerhaft angewendet werden. Aus diesen Befunden ist zu schließen, dass für die Lerner ein Bedarf an Unterstützung bei dieser Art des Lernens besteht. Im vorherigen Kapitel (Kapitel 5) ist dann ausführlich herausgearbeitet worden, wie eine optimale Unterstützung der Strategienutzung beim SRL durch Experimentieren aussehen sollte.

Um angemessen fördern zu können, sollte man zunächst wissen, welche Art von Defizit der gezeigten fehlenden Strategienutzung zugrunde liegt (vgl. Kapitel 4), da sich je nach Defizit unterschiedliche Konsequenzen für die Art der Unterstützung ergeben (Bannert, 2007). Zu unterscheiden ist hierbei, ob das entsprechende Wissen über die notwendigen Strategien nicht beziehungsweise unzureichend vorhanden ist (Verfügbarkeitsdefizit) oder ob trotz Vorhandensein dieses Wissens die richtige Nutzung dieses Wissens ausbleibt (Produktionsdefizit). Aufgrund der bisherigen Forschung liegt die Vermutung nahe, dass im Falle des SRL durch Experimentieren eher ein Produktionsdefizit als ein Verfügbarkeitsdefizit vorliegt (Thillmann, 2008; Veenman et al., 2005). Diese Vermutung sollte zunächst durch weitere empirische Daten gerechtfertigt werden, bevor man darauf aufbauend angemessene Unterstützung plant. Die erste Fragestellung, die im empirischen Teil dieser Arbeit bearbeitet werden soll, lautet folglich:

1. Lassen sich empirische Hinweise finden, die die Annahme eines Produktionsdefizits hinsichtlich der Nutzung von Experimentierstrategien rechtfertigen?

Die Vermutung ist, dass bei Gymnasiasten der Sekundarstufe I ein Produktionsdefizit vorliegt und sich dafür empirische Hinweise finden lassen. Dieses Produktionsdefizit wird unabhängig vom naturwissenschaftlichen Inhaltsbereich vermutet. Bei einem Produktionsdefizit liegt ein moderates bis hohes Strategiewissen zum Experimentieren vor. Gleichzeitig kommt es aber zu keiner beziehungsweise zu einer geringen Strategienutzung. Bei einem solchen Produktionsdefizit wäre somit auch von keiner beziehungsweise nur von einer mäßigen positiven Korrelation zwischen Strategiewissen und Strategienutzung

auszugehen. Wobei die Ursache für die fehlenden oder geringen Korrelationen darin liegt, dass viele Probanden ein hohes Strategiewissen, aber eine geringe Strategienutzung zeigen und kaum Probanden ein geringes Strategiewissen, aber eine hohe Strategienutzung aufweisen.

Daraus ergibt sich folgende zu überprüfende Hypothese:

Hypothese 1: Es liegt ein Produktionsdefizit vor und damit folgendes Zusammenhangsmuster zwischen Strategiewissen und Strategienutzung: Die meisten Schüler weisen eine hohe Ausprägung im Strategiewissen in Kombination mit einer geringen Ausprägung in der Strategienutzung auf, aber kaum Schüler eine geringe Ausprägung im Strategiewissen kombiniert mit einer hohen Ausprägung in der Strategienutzung.

Nach der Beantwortung der Frage nach einem Verfügbarkeits- oder Produktionsdefizit, geht es im Weiteren darum, wie SRL durch Experimentieren angemessen unterstützt werden kann. Kapitel 2 und 3 dieser Arbeit haben dabei deutlich gemacht, dass der Monitoring-Prozess für das SRL allgemein und für das SRL durch Experimentieren mindestens ebenso eine zentrale Bedeutung besitzt. Zugleich hat Kapitel 4 gezeigt, dass adäquates Monitoring vielen Lernern Schwierigkeiten bereitet und selten zu finden ist. Deshalb sollten Unterstützungsmaßnahmen an diesem Prozess ansetzen (vgl. Kapitel 5.1). Liegt tatsächlich ein Produktionsdefizit vor, hat dieses folgende Konsequenzen für die Auswahl der Unterstützungsmaßnahmen: Erstens sollten diese auf die Strategienutzung und nicht primär auf das Strategiewissen abzielen. Zweitens sollten sie während des Lernens, also während die Strategien angewendet werden, und nicht vorab gegeben werden (vgl. Abschnitt 5.3.1). Eine Möglichkeit dieses zu tun, liegt in dem Einsatz sogenannter Prompts, die während des Lernprozesses den Strategiegebrauch anregen sollen. Die Wirksamkeit einer solchen Unterstützung lässt sich vermutlich steigern, wenn diese Anregungen nicht auf einem allgemeinen modellhaften Lernprozessablauf beruhen, sondern angepasst sind an das tatsächlich gezeigte individuelle Verhalten des Lernalters (vgl. Abschnitt 5.3.2). Es handelt sich dann um eine Form mikro-adaptiver Unterstützung. Diese wird in der Forschung häufig gefordert, ist aber bisher eher selten empirisch überprüft worden. Es stellt sich also die Frage, ob dadurch tatsächlich die Lernförderlichkeit gesteigert werden kann. Nur eine positive Beantwortung dieser Frage würde den erhöhten

Aufwand beim Entwickeln adaptiver Unterstützungsmaßnahmen rechtfertigen. Die zweite Fragestellung dieser Arbeit lautet somit:

2. Sind adaptive Unterstützungsmaßnahmen, also an das individuell gezeigte strategische Verhalten angepasste Unterstützungsmaßnahmen, für das SRL durch Experimentieren lernförderlicher als nicht adaptive Unterstützungsmaßnahmen?

Als eine Art der Unterstützung werden in dieser Untersuchung Prompts gewählt, da es sich um eine bewährte Form der Unterstützung während des Lernens handelt. Da sich adaptive Unterstützung stärker nach den Bedürfnissen der Lerner ausrichtet und so auch die Überzeugung der Lerner, dass die Unterstützung hilfreich ist, positiv beeinflussen sollte (vgl. 5.3.2), wird vermutet, dass sie lernförderlicher ist als nicht adaptive Unterstützung. Diese Lernförderlichkeit sollte sich vor allem auf die Strategienutzung auswirken und zwar während der Intervention, da die Unterstützung an das strategische Verhalten adaptiert ist und hierzu Hilfen bietet. Insofern ist kurzfristig nicht unbedingt von einem Einfluss auf den inhaltlichen Wissenszuwachs auszugehen, zumal die Lerner sich vermutlich durch die Unterstützung verstärkt auf die Strategien fokussieren, zum Nachteil für das inhaltliche Wissen. Die Unterstützung sollte aber auch zu einer besseren Strategienutzung über den Zeitpunkt der Intervention hinaus führen und auch in einer Experimentierumgebung mit anderem Inhaltsbereich Vorteile zeigen. Eine verbesserte Strategienutzung sollte sich dann auch mittel- bis langfristig auf einen verbesserten inhaltlichen Wissenszuwachs auswirken. Somit lauten die einzelnen Hypothesen zu Fragestellung 2:

Hypothese 2.1: Lerner, die adaptive Unterstützung erhalten, die angepasst ist an ihre individuell gezeigte Strategienutzung, empfinden ihre Unterstützung als hilfreicher als Lerner mit nicht-adaptiver Unterstützung.

Hypothese 2.2: Lerner, die adaptive Unterstützung erhalten, die angepasst ist an ihre individuell gezeigte Strategienutzung, zeigen eine häufigere Strategienutzung als Lerner ohne adaptive Unterstützung.

Hypothese 2.3: Lerner, die adaptive Unterstützung erhalten, die angepasst ist an die individuell gezeigte Strategienutzung der Lerner, zeigen im unterstützten Lernprozess keinen größeren inhaltlichen Lerngewinn als Lerner ohne adaptive Unterstützung.

Hypothese 2.4: Lerner, die adaptive Unterstützung erhalten, die angepasst ist an die individuell gezeigte Strategienutzung der Lerner, zeigen im Transfer

- a) eine häufigere Strategienutzung,
- b) einen größeren inhaltlichen Lerngewinn als Lerner ohne adaptive Unterstützung.

Eine weitere Möglichkeit während des Lernens adaptiv zu unterstützen, die nach den Modellen des SRL besonders geeignet sein sollte, um den Monitoring-Prozess und so das SRL zu unterstützen (vgl. 5.4.3), ist das Geben von Feedback (vgl. Kapitel 5.4). Wobei dieses Feedback im Sinne einer Mikro-Adaptivität angepasst sein sollte an die gezeigte Strategienutzung. Bisherige Ergebnisse aus der Feedbackforschung sprechen für eine bessere Wirksamkeit durch stärker elaboriertes Feedback (vgl. 5.4.2). Deshalb sollte das adaptive Feedback eine Form von informativem tutoriellem Feedback darstellen, die neben der reinen Rückmeldung auch passende Hinweise zur Strategienutzung enthält. Die Rückmeldung sowie die Hinweise sollten, wie adaptive Prompts, an die gezeigte Strategienutzung adaptiert sein. Solch ein Feedback, welches sich auf den Lernprozess, also auf gezeigtes Strategieverhalten statt auf Lernprodukte bezieht, wurde bisher kaum untersucht. Ebenfalls bisher selten überprüft wurde die Wirkung von Feedback auf Lernprozesse, wie beispielsweise auf die Strategienutzung, anstatt auf Lernprodukte.

Im Vergleich zu adaptiven Prompts enthält das hier beschriebene Feedback zusätzlich einen Rückbezug auf zuvor gezeigtes Verhalten. Dieser wirkt über motivationale und kognitive Prozesse. Während Prompts trotz ihrer Adaptivität möglicherweise für den Lerner nicht überzeugend oder nachvollziehbar sind, sollte die Rückmeldung zu zuvor gezeigtem Verhalten diese Akzeptanz der Unterstützungsmaßnahme und die Überzeugung der Nützlichkeit dieser Maßnahme erhöhen. Verstärkt wird dieses durch die Möglichkeit beim Feedback eine individuelle Bezugsnorm zugrunde zu legen. So kann der Lerner im Verlauf des Lernprozesses erfahren, inwieweit der mögliche Versuch, die gegebenen Hinweise umzusetzen, das gezeigte Verhalten verbessert hat. Diese Information kann der Lerner nicht aus den adaptiven Prompts gewinnen. Die im Feedback enthaltene Rückmeldung sollte also über die adaptiven Prompts hinaus motivations- und lernförderlich sein.

Als dritte Forschungsfrage dieser Arbeit ergibt sich somit:

3. Ist strategiebezogenes Feedback mit adaptiven Hinweisen (Prompts) motivations- und lernförderlich und somit effektiver in der Unterstützung des SRL durch Experimentieren als Unterstützung ohne Feedback?

Die Annahme hierbei ist, dass adaptives Feedback, welches sich auf die gezeigte Strategienutzung bezieht und informative Hinweise zu diesen Strategien, enthält, motivations- und lernförderlich wirkt. Es werden dabei stärkere Effekte erwartet als bei Unterstützung ohne Feedback. Die Lernförderlichkeit sollte sich wie bei der zweiten Fragestellung aus den dort genannten Gründen vor allem auf die Strategienutzung auswirken und zunächst nicht auf den inhaltlichen Lernzuwachs. Eine verbesserte Strategienutzung sollte sich aber auch hier mittelfristig in einer Transfer-Testung, auf einen verbesserten inhaltlichen Wissenszuwachs auswirken. Die adaptiven Hinweise beim Feedback entsprechen adaptiven Prompts, deshalb wird im Folgenden von Feedback mit adaptiven Prompts gesprochen. Die Hypothesen lassen sich also wie folgt formulieren:

Hypothese 3.1: Lerner, die strategiebezogenes Feedback mit adaptiven Prompts erhalten, sind stärker motiviert als Lerner ohne Feedback.

Hypothese 3.2: Lerner, die strategiebezogenes Feedback mit adaptiven Prompts erhalten, zeigen eine häufigere Strategienutzung als Lerner ohne Feedback.

Hypothese 3.3: Lerner, die strategiebezogenes Feedback mit adaptiven Prompts erhalten, zeigen im unterstützten Lernprozess keinen größeren inhaltlichen Lerngewinn als Lerner ohne Feedback.

Hypothese 3.4: Lerner, die strategiebezogenes Feedback mit adaptiven Prompts erhalten, zeigen im Transfer

- a) eine häufigere Strategienutzung,
- b) einen größeren inhaltlichen Lerngewinn als Lerner ohne Feedback.

Im nachfolgenden empirischen Teil dieser Arbeit werden zunächst die selbstentwickelten Materialien beschrieben. Dabei geht es in Kapitel 7 um die computerbasierten

Lernumgebungen, die verwendet wurden, um die Forschungsfragen zu untersuchen. Es folgen in Kapitel 8 die eingesetzten Strategiemäße. Die vorliegende Arbeit fokussiert sich hierbei auf die Entwicklung und Evaluation eines Strategiewissenstests. Es folgen dann die empirischen Studien zu den Forschungsfragen dieser Arbeit. Dabei beschäftigt sich Kapitel 9 mit der Beantwortung der ersten Forschungsfrage, während Kapitel 10 die Forschungsfragen zwei und drei behandelt.

7. Beschreibung der computerbasierten Lernumgebungen

Es wurden in dieser Arbeit computerbasierte Lernumgebungen (CBLE) als Material gewählt, um selbstreguliertes Lernen durch Experimentieren zu untersuchen. Im Rahmen des DFG-Projektes „Diagnose und Förderung von Lernprozessen im naturwissenschaftlichen Unterricht“ wurden zwei computerbasierte Lernumgebungen entwickelt. In der ersten Projektphase entstand bereits eine Lernumgebung zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ in einer Kooperation aus Lernpsychologie und Physikdidaktik (vgl. Küsting, 2007; Thillmann, 2008; Wirth, Thillmann, Küsting, Fischer & Leutner, 2008). Diese wurde in der zweiten Projektphase modifiziert und optimiert (vgl. dazu Gößling, 2010). Ebenso wurde eine neue analoge Lernumgebung zum Themenbereich „Säuren und Basen“ in einer Kooperation aus Lernpsychologie und Chemiedidaktik entwickelt (siehe hierzu auch Gößling, 2010). Beide Lernumgebungen wurden anhand von testtheoretischen, lehr-lernpsychologischen und fachdidaktischen Kriterien entwickelt. Diese computerbasierten Lernumgebungen werden im empirischen Teil dieser Arbeit eingesetzt. Sie wurden so entwickelt, dass Lerner selbstgesteuert Hypothesen generieren, simulierte Experimente durchführen und Schlussfolgerungen ziehen können. Schüler können so Zusammenhänge zwischen Konzepten eines Inhaltsbereiches herausfinden.

Dabei haben computerbasierte Lernumgebungen den Vorteil, relevante Variablen simulieren und visualisieren zu können, auch diejenigen, die in der Realität nicht direkt wahrnehmbar sind. Entsprechend werden in der Lernumgebung zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ beispielsweise auf den Körper einwirkende Kräfte und in der Lernumgebung zu „Säuren und Basen“ der Anteil von OH^- -Ionen und H^+ -Ionen visualisiert.

Alle vorhandenen Variablen besitzen diskrete und endliche Wertebereiche, so dass es möglich ist, die simulierten Strukturen vollständig formal zu beschreiben. Ein weiterer Vorteil von CBLE ist die automatische Aufzeichnung jeden Mausklicks und jeder Reaktion des Systems in ein sogenanntes logfile versehen mit einem Zeitstempel. Dieses ist Voraussetzung für die Entwicklung verhaltensbasierter Strategienutzungsmaße, welche in Kapitel 8.1 näher beschrieben werden. Des Weiteren ermöglichen CBLE Unterstützungshilfen als Module einzubauen (de Jong & van Joolingen, 1995), die durch die online Auswertung der logfile-Aufzeichnungen adaptiv gestaltet werden können (vgl. Kapitel 10).

Allgemeiner Aufbau

In ihrem allgemeinen Aufbau richten sich die Lernumgebungen nach dem theoretischen *Scientific Discovery as Dual Search* (SDDS)-Modell von Klahr und Dunbar (1988). Dieses Modell beschreibt strategisch gutes Experimentieren als eine Interaktion zwischen zwei Räumen, dem Hypothesen- und dem Experimenterraum (siehe Kapitel 3). Beide Räume sind in den Lernumgebungen repräsentiert, der Hypothesenraum in Form eines grafischen Tools, dem Notizblock, und der Experimenterraum in Form eines simulierten Labors.

Der Notizblock erfüllt dabei mehrere Funktionen. Er dient zur Unterstützung von hypothesengeleitetem Experimentieren und zur Organisation von Wissen, dadurch, dass Zusammenhänge zwischen Variablen grafisch dargestellt werden können. Diese grafische Darstellung ist zudem eine externe Repräsentation des Wissens und somit eine Entlastung des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley, 1992).

Bedienung

Für beide Lernumgebungen wurde die Bedienung so einfach wie möglich gestaltet, so kann alles über die Computermouse gesteuert werden. Per *drag-and-drop* können die entsprechenden Gegenstände im Labor bewegt und die Funktionen des Notizblocks genutzt werden. Damit alle Schüler wissen, wie sie mit dem Programm umgehen müssen und welche verschiedenen Funktionen nutzbar sind, wurden je zwei computerbasierte Tutorials zu beiden Lernumgebungen neu entwickelt. Das erste Tutorial (Notizblock-Tutorial) bezieht sich auf das Bedienen des Notizblocks. In kleinen Filmen (Bildschirm-Aufzeichnungen) mit gesprochenem und geschriebenem Text wird erklärt, wie der Notizblock zu benutzen ist. Außerdem sind kleine Übungen mit Rückmeldungen in das Tutorial integriert. Dieses Notizblock-Tutorial gibt es in einer Langfassung und einer Kurzfassung. Letztere kommt zum Einsatz, wenn bereits mit einer der beiden Lernumgebungen gearbeitet wurde und daher die Erinnerung an das Bedienen des Notizblocks nur aufgefrischt werden muss. Das zweite Tutorial (Labor-Tutorial) erklärt ebenfalls in kleinen Filmen mit gesprochenem und geschriebenem Text, was sich im Labor befindet, was die einzelnen Geräte anzeigen und wie die Funktionen zu bedienen sind.

In den zwei folgenden Unterkapiteln werden die Lernumgebungen in Inhalt, Aufbau und Funktionsweise näher beschrieben.

7.1 CBLE zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“

Der Inhaltsbereich „Auftrieb in Flüssigkeiten“ wurde gewählt, da er Teil des Physik-Curriculums der Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen ist, aber in Jahrgang 8 und zum Teil in Jahrgang 9 davon auszugehen ist, dass die Schüler zu dem Thema noch kein schulisches Vorwissen aufweisen. Der Inhaltsbereich eignet sich außerdem, weil er ausschließlich lineare Beziehungen zwischen Variablen umfasst. Diese sind einfacher durch Experimente herauszufinden als nicht-lineare Beziehungen. Eine Expertenmap, die alle möglichen Relationen zwischen den in der Lernumgebung enthaltenen Variablen abbildet, befindet sich im Anhang A.

Wie bereits erwähnt, gliedert sich die Lernumgebung in ein Labor, das sich auf der linken Seite des Bildschirms befindet, und in einen Notizblock, dargestellt auf der rechten Seite des Bildschirms. Abbildung 7.1 zeigt einen Screenshot der Lernumgebung zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“, in dem auf der linken Seite der Experimenterraum (Labor) und auf der rechten Seite der Hypothesenraum (Notizblock) zu sehen ist.

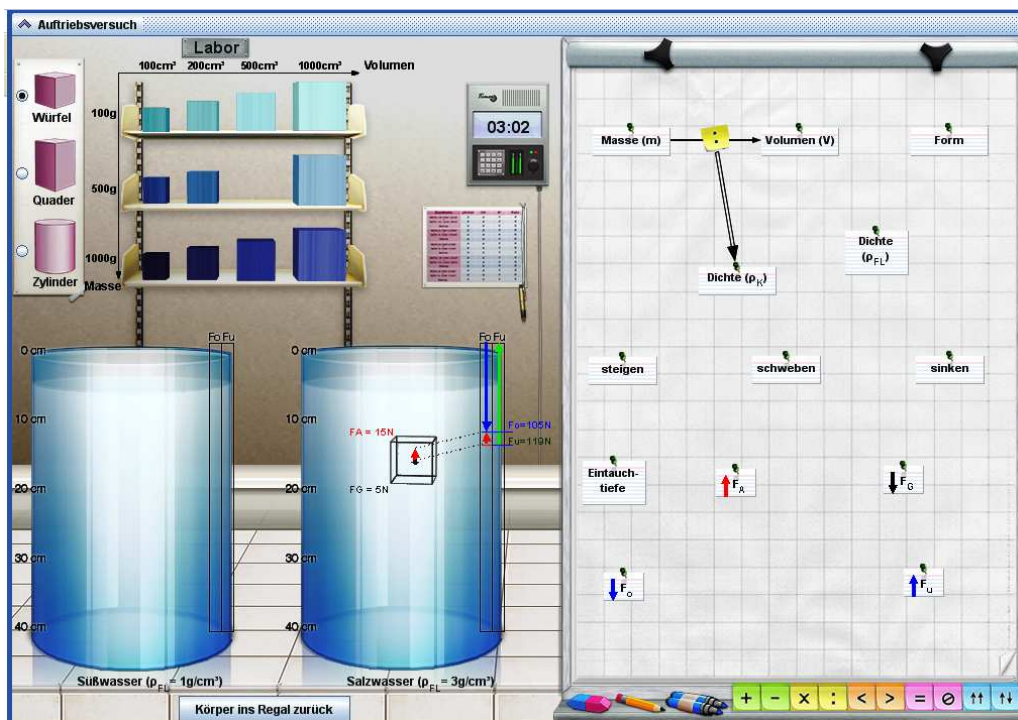


Abbildung 7.1: Screenshot der Lernumgebung zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“

Labor

Im Labor befinden sich zwei gleich große Gefäße, die mit Wasser gefüllt sind. Im linken Gefäß befindet sich Süßwasser mit einer geringen Flüssigkeitsdichte. Im rechten Gefäß

befindet sich Salzwasser mit einer hohen Flüssigkeitsdichte. Die Informationen zur Dichte sind unter den Gefäßen angezeigt. Jeweils links von den Gefäßen wird die Wassertiefe anhand einer Skala von 0 bis 40 cm in 10-cm-Schritten angezeigt. Auf der anderen Seite der Gefäße befinden sich zwei Säulen als Anzeige für die Kraft F_o , die von oben auf den Körper im Wasser wirkt, und die Kraft F_u , die von unten auf den Körper im Wasser wirkt. An der Wand des Labors oberhalb der Gefäße befindet sich ein Regal mit zwölf Körpern. Es handelt sich dabei um 12 Würfel, die anhand eines Klicks auf den Auswahl-Button, der sich links neben dem Regal befindet, in Quader oder Zylinder ausgetauscht werden. Hiermit ist das Schüler-Fehlkonzept, die Form des Körpers habe einen Einfluss auf sein Verhalten im Wasser, überprüfbar. Die Körper, die nebeneinander im Regalbrett stehen, haben dieselbe Masse, während die Körper, die untereinander stehen, in ihrer Masse zunehmen von 100 g über 500 g bis zu 1000 g. Die Körper, die untereinander stehen, haben dagegen dasselbe Volumen. Es nimmt bei den nebeneinander stehenden Körpern von links nach rechts zu, angefangen bei 100 cm^3 über 200 cm^3 , 500 cm^3 bis zu 1000 cm^3 . Die Dichte des Körpers ergibt sich, indem man die Masse durch das Volumen teilt. Die Dichte wird durch ein *tool-tip* auf den entsprechenden Körper angezeigt.

Ein weiteres Element in der Lernumgebung ist die Uhr in der oberen rechten Ecke des Labors. Diese Uhr zählt die Minuten der Explorationszeit rückwärts herunter. Somit weiß der Lernende, wie viel Zeit ihm noch zur Verfügung steht und er kann seine Aktionen in der Lernumgebung entsprechend planen. Außerdem befindet sich unterhalb der Uhr eine Tabelle, die die letzten sechs Körper, die in ein Gefäß geworfen wurden, und die daraus resultierenden Ergebnisse anzeigt. Da diese Werte nicht vom Lernenden selbst festgehalten werden können, ist es zur Entlastung des Arbeitsgedächtnisses sinnvoll, diese Form der externen Speicherung zu integrieren.

Ein Experiment im Labor kann simuliert werden, indem per *drag-and-drop* ein Körper aus dem Regal in eines der beiden Gefäße gezogen wird. In diesem Moment startet die Simulation, die die Kräfte F_o und F_u in den vorgesehenen Säulen am Gefäßrand anzeigt. Außerdem werden die Auftriebskraft F_A und die Gewichtskraft F_G des Körpers, die in Form von Pfeilen von unten beziehungsweise von oben auf den Körper im Gefäß gerichtet sind, dargestellt. Der Wert der Kräfte wird durch die Pfeillänge symbolisiert und an der Spitze des Pfeils wird der Wert in der Maßeinheit Newton angegeben. Das Verhalten der Körper im Wasser resultiert nach den Gesetzen des Auftriebs aus der Differenz zwischen Auftriebskraft und Gewichtskraft. Ist diese Differenz gleich null, schwebt der Körper auf der Höhe seiner Eintauchtiefe. Ergibt sich eine positive Differenz, so steigt der Körper zur

Wasseroberfläche, ist die Differenz dagegen negativ, so sinkt der Körper zum Gefäßboden. Die Geschwindigkeit des simulierten Steigens oder Sinkens hängt dabei von der resultierenden Kraft ab.

Notizblock

Der Notizblock als Repräsentation des Hypothesenraums befindet sich auf der rechten Seite des Bildschirms. Unter anderem für den Einsatz in den empirischen Studien dieser Arbeit wurde der Notizblock der Vorgängerversion deutlich überarbeitet. Abbildung 7.2 zeigt den alten und den neuen Notizblock im Vergleich. In erster Linie wurde er grafisch ansprechender gestaltet, um auch die Motivation der Lernenden zu erhöhen, dieses Tool zu benutzen. In der ersten Projektphase zeigte sich nämlich, dass der Notizblock sehr selten benutzt wurde.

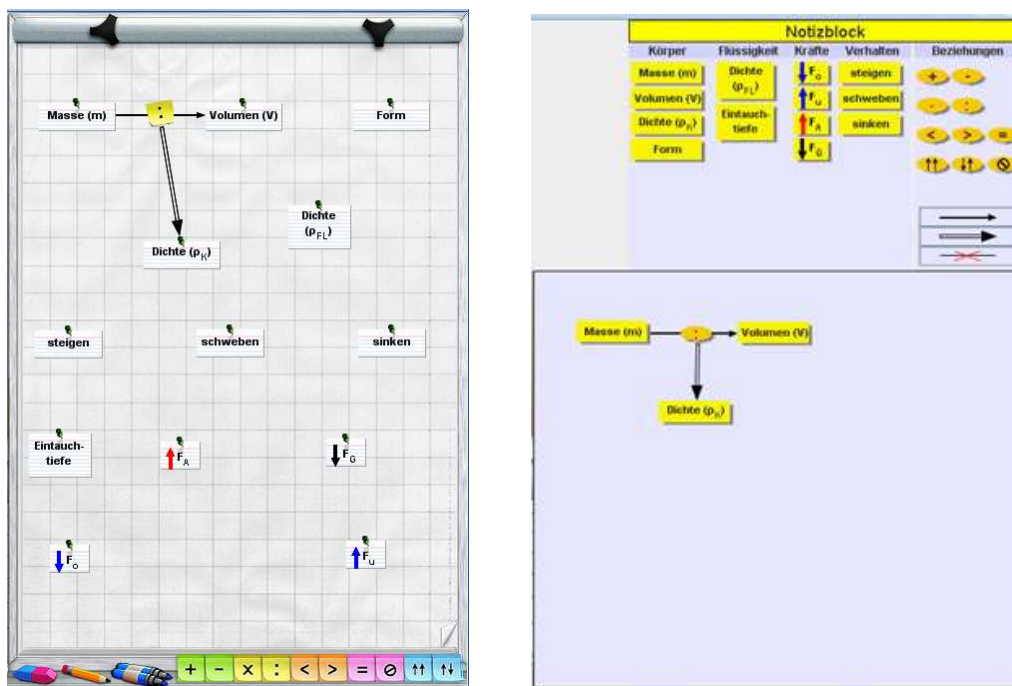


Abbildung 7.2: Neuer Notizblock (links) und alter Notizblock (rechts)

Der Notizblock besitzt jetzt das Aussehen einer Flipchart mit kariertem Papier. Alle Begriffe, die man braucht, um die explorierbaren Zusammenhänge darzustellen, sind bereits in Form von Karteikärtchen auf der Flipchart angebracht. Alle Begriffskärtchen sind durch *drag-and-drop* beliebig auf dem Notizblock verschiebbar. Es handelt sich bei den Begriffen um die Variablen Volumen, Masse, Dichte und Form des Körpers sowie um die Eintauchtiefe, die Dichte der Flüssigkeit, die vier Kräfte und die Verhaltensweisen des Körpers, nämlich schweben, steigen und sinken.

Unten auf der Ablage der Flipchart befinden sich ein Radiergummi, ein Bleistift, ein Filzstift mit Doppelspitze und kleine Post-it-Blöcke mit unterschiedlichen Labeln darauf. Mit dem Bleistift können sogenannte Beziehungspfeile zwischen den Begriffskärtchen gezogen werden, wobei die Pfeilrichtung dabei die Leserichtung vorgibt. Welche Art von Beziehung zwischen den Begriffen besteht, kann durch die Label auf den Post-its bestimmt werden. Diese werden durch Anklicken des entsprechenden Post-its ausgewählt und per *drag-and-drop* auf den Beziehungspfeil gezogen. Um die Beziehungen beschreiben zu können, gibt es Label mit Symbolen, die zum einen mathematische Beziehungen beschreiben, wie die Zeichen der vier Grundrechenarten (+; -; x; :) und Relationszeichen (<; >; =), und zum anderen die Art des Zusammenhangs ausdrücken, wie positiv linear, negativ linear und kein Zusammenhang ($\uparrow\uparrow$, $\uparrow\downarrow$, \emptyset). Die Bedeutung der Label wird im Tutorial erläutert und während des Lernens durch einen *tool-tip* angezeigt.

Um andere Relationen in der Art „wenn x in bestimmter Relation zu y steht, dann ergibt sich daraus z“ darzustellen, dient der Stift mit der Doppelspitze. Mit ihm kann man einen sogenannten Ergebnisfeil einzeichnen. Er stellt sich als Doppelpfeil dar und verläuft vom Label eines Beziehungspfeils zu einem Begriffskärtchen.

Es können mehrere Pfeile zwischen Begriffen gezogen werden. Mit dem Radiergummi können bereits eingezeichnete Relationen gelöscht werden. Er wird durch einen Mausklick aktiviert und muss dann wie die Stifte per *drag-and-drop* von einem Kärtchen zum anderen Kärtchen gezogen werden.

Um ausdrücken zu können, ob man eine Idee oder Schlussfolgerung (im Sinne einer Aussage) auf dem Notizblock festhalten will, wurde eine weitere Modifikation vorgenommen. Beim Einzeichnen von Relationen mit Hilfe der Pfeile blinken die Pfeile. Hiermit soll dargestellt werden, dass es sich um eine Hypothese handelt und man sich bezüglich der Richtigkeit der Aussage nicht sicher ist. Erst durch einen Doppelklick auf das Label des Pfeils kann man das Blinken stoppen, wodurch gezeigt wird, dass man sich dieser Aussage sicher ist und man sie festhalten möchte. Dieses wurde den Lernenden vorab im Tutorial erklärt und in kleinen Übungen ausprobiert.

7.2 CBLE zu „Säuren und Basen“

Für die zweite Lernumgebung wurde versucht, ein mit „Auftrieb in Flüssigkeiten“ vergleichbares Thema aus dem Fach Chemie zu wählen. Eine ähnliche Relevanz besitzt hier das Thema „Säuren und Basen“ beziehungsweise der zu diesem Thema gehörende

Neutralisationsvorgang. Zumindest ein Teil der Relationen ist auch hier durch lineare Beziehungen beschreibbar. Andere Relationen sind eher definitorischer Art im Sinne von „x ist gleich y“ oder „x besitzt y“. Eine Expertenmap, die alle möglichen Relationen zwischen den in der Lernumgebung enthaltenen Variablen abbildet, befindet sich im Anhang A.

Die Lernumgebung zu „Säuren und Basen“ hat zwar einen anderen Fachinhalt, wurde aber formal und optisch so analog wie möglich zur bestehenden Lernumgebung gestaltet. Abbildung 7.3 zeigt einen Screenshot der Lernumgebung zu „Säuren und Basen“. Auch hier wird der Aufbau für Labor und Notizblock getrennt beschrieben, wobei sich die Unterschiede zur anderen Lernumgebung vornehmlich im Labor zeigen.

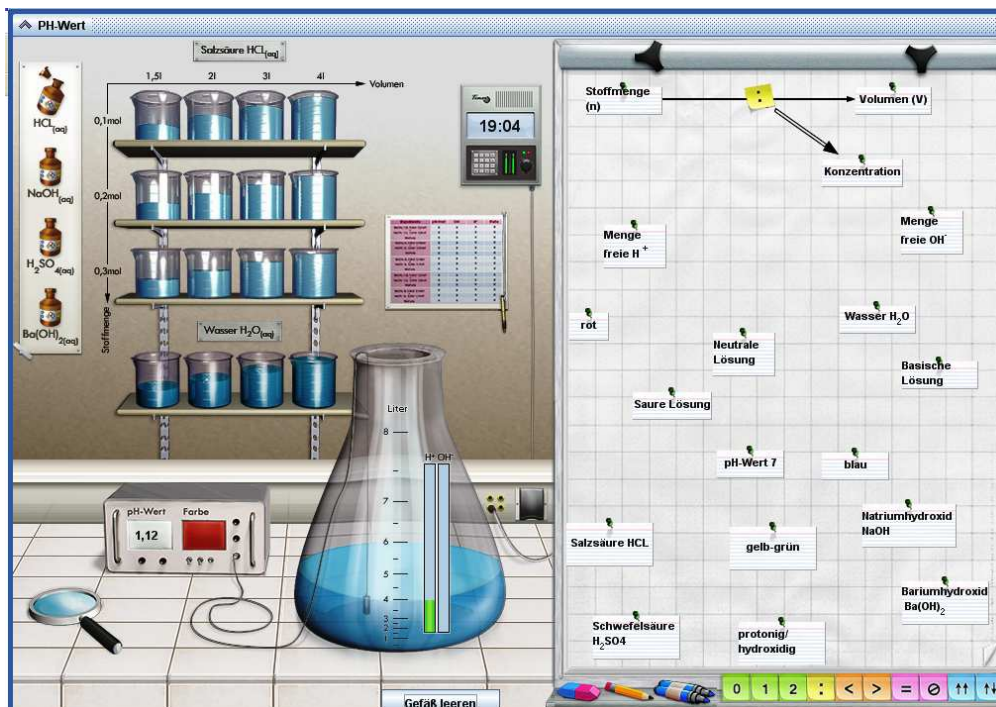


Abbildung 7.3: Screenshot der Lernumgebung zu „Säuren und Basen“

Labor

Es wurde versucht das Aussehen und die Funktionen des Labors der Lernumgebung zu „Säuren und Basen“ möglichst analog zur Lernumgebung zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ zu halten. So gibt es in diesem Labor ebenfalls eine Uhr, die die verbleibende Explorationszeit anzeigt, und eine Ergebnistabelle, die die letzten durchgeführten Experimente und resultierenden Mischungsergebnisse protokolliert. Vorne mittig im Labor ist ein Laborgefäß dargestellt, welches maximal 8 Liter fasst. Das Laborgefäß besitzt eine Skalierung, die das Volumen des Gefäßes in 0,5-Liter-Schritten anzeigt. Rechts daneben

befindet sich eine Anzeige, die symbolisch die Anzahl freier H^+ -Ionen und OH^- -Ionen in Form von steigenden Farbsäulen anzeigt. Links neben dem Laborgefäß befindet sich ein pH-Wert-Messgerät, dessen Fühler ins Laborgefäß eingelassen ist. Es zeigt auf einer Anzeige den pH-Wert und die Färbung des Universalindikators zu der sich im Gefäß befindenden Flüssigkeit an.

Hinter dem Laborgefäß ist auch in dieser Lernumgebung ein Regal angebracht. Es besteht ebenfalls aus drei Regalbrettern, auf ihnen befinden sich insgesamt 12 Bechergläser. Diese Bechergläser sind mit Lösungen gefüllt. Welche Lösung sich in den Bechergläsern befinden soll, kann durch einen Auswahlbutton links neben dem Regal vom Lernenden bestimmt werden. Zur Auswahl stehen zwei saure Lösungen, Salzsäure und Schwefelsäure, und zwei basische Lösungen, Natriumhydroxid (Natronlauge) und Bariumhydroxid. Diese Lösungen wurden gewählt, weil zu einer einprotonigen und einer zweiprotonigen sauren Lösung (Salzsäure und Schwefelsäure) eine sich jeweils analog verhaltende basische Lösung benötigt wurde. Natriumhydroxid und Bariumhydroxid bieten sich hierfür als basische Lösungen an. Somit können saure und basische Lösungen so gemischt werden, dass daraus saure, basische und neutrale Lösungen resultieren.

Alle Bechergläser, die nebeneinander stehen, enthalten die gleiche Stoffmenge, auf dem ersten Regalbrett 0,1 mol, auf dem zweiten Regalbrett 0,2 mol und auf dem dritten Regalbrett 0,3 mol. Die Stoffmenge wird anhand einer Legende am Regal angezeigt, ebenso wie das Volumen. Alle untereinander stehenden Bechergläser haben dasselbe Volumen. Es nimmt von links nach rechts zu, von 1,5 L, über 2 L und 3 L bis zu 4 L. Die Konzentration ergibt sich, indem die Stoffmenge durch das Volumen geteilt wird. Ein *tool tip* zeigt die Konzentration für jedes einzelne Becherglas an.

Unter diesem Regal befindet sich ein weiteres Regalbrett, auf ihm befinden sich vier Bechergläser, die mit Wasser gefüllt sind. Ihr Volumen nimmt entsprechend der anderen Bechergläser im Regal von links nach rechts zu. Dieses Element wurde eingefügt, um das Fehlkonzept vieler Schüler, Wasser neutralisiere saure oder basische Lösungen, aufzugreifen und überprüfbar zu machen.

Ein weiteres Element der Lernumgebung ist die Lupe. Sie befindet sich in der linken unteren Ecke des Labors und kann durch Anklicken und Ziehen auf das Laborgefäß aktiviert werden. Wird sie auf das gefüllte Laborgefäß gezogen, wird symbolisch der Inhalt des Gefäßes angezeigt. Es werden die entsprechenden Ionen und Moleküle der Flüssigkeit anhand üblicher modellhafter Abbildungen dargestellt (siehe Abb. 7.4). Hierdurch können

Aspekte sichtbar gemacht werden, die beim realen Experimentieren nicht visuell wahrnehmbar sind.

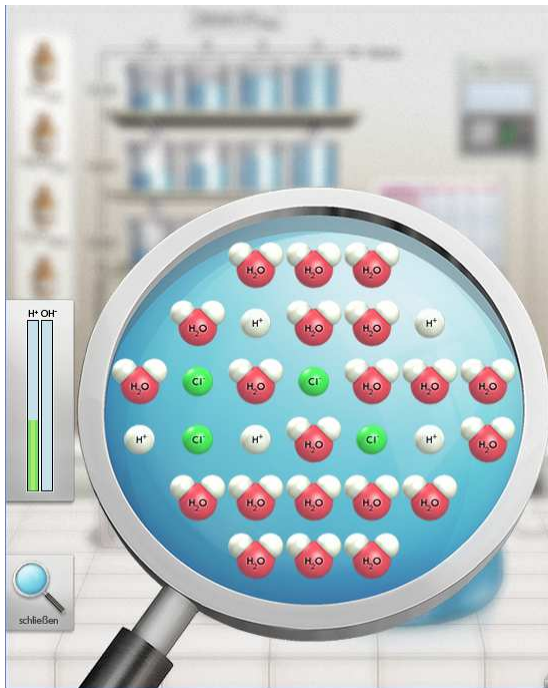


Abbildung 7.4: Lupe in der Lernumgebung zu „Säuren und Basen“

Notizblock

Der Notizblock in der Lernumgebung zu „Säuren und Basen“ hat das gleiche Aussehen und dieselben Funktionen wie der Notizblock in der Lernumgebung zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“. Diese sind bereits unter Abschnitt 7.1 ausführlich beschrieben.

Unterschiede bestehen nur in den Begriffen, die auf den Kärtchen auf dem Notizblock angebracht sind, und in den Labeln, die sich auf den Post-its befinden. Es handelt sich bei den Begriffen um Eigenschaften der Flüssigkeiten beziehungsweise der resultierenden Mischungen wie Stoffmenge, Volumen, Konzentration, Menge freier H^+ -Ionen, Menge freier OH^- -Ionen, protonig / hydroxidig (wobei letzterer Begriff in Absprache mit Chemiedidaktikern kreiert wurde, um für basische Lösungen ein analoges Wort für „protonig“ zu finden, welches sich auf saure Lösungen bezieht), pH-Wert 7, Salzsäure, Schwefelsäure, Natriumhydroxid, Bariumhydroxid, Wasser, saure Lösung, basische Lösung, neutrale Lösung sowie die Farben, die der Universalindikator annehmen kann, blau, rot und gelb-grün. Die Label unterscheiden sich, weil in Abhängigkeit vom Fachinhalt zum Teil andere Relationen dargestellt werden müssen. So werden die mathematischen Operanden wie plus, minus und mal nicht gebraucht, dagegen muss ausgedrückt werden können, ob etwas ein-, zwei- oder nicht protonig / hydroxidig ist,

dafür dienen die 1, 2 und 0 als Label. Ansonsten wurden dieselben Label benutzt wie in der Physik-Lernumgebung. Auch hier können mit den Labeln und Kärtchen alle explorierbaren Relationen dargestellt werden.

8. Strategiebezogene Maße

In dieser Arbeit geht es darum, SRL durch Experimentieren und seine Unterstützungsmöglichkeiten zu untersuchen. Dafür ist es notwendig, SRL durch Experimentieren messen zu können. Um vor allem der Frage nach einem Produktionsdefizit (vgl. Kapitel 4) nachzugehen, ist es entscheidend dabei Strategiewissen und Strategienutzung getrennt voneinander zu erfassen. Es werden folglich Maße für gezeigtes strategisches Verhalten, also die Strategienutzung, und für das Wissen über Experimentierstrategien benötigt. In diesem Kapitel werden zunächst die verwendeten Strategienutzungsmaße beschrieben (Unterkapitel 8.1), die auf der Arbeit von Gößling (2010) basieren. Es wird dann in Unterkapitel 8.2 ausführlicher auf den Strategiewissenstest eingegangen, der im Rahmen dieser Arbeit entwickelt und evaluiert wurde. Es werden hierzu zwei durchgeführte empirische Studien vorgestellt.

8.1 Maße zur Strategienutzung

Wie unter Kapitel 7 beschrieben, kann bei computerbasierten Lernumgebungen jeder Mausklick und jede Reaktion des Systems in einem sogenannten logfile aufgezeichnet werden. Diese logfile-Aufzeichnungen wurden genutzt um verhaltensbasierte Strategienutzungsmaße zu entwickeln. Ausführliche Informationen zur Entwicklung und Evaluation dieser Maße finden sich in der Dissertation von Gößling (2010).

Diese Maße geben an, inwieweit Strategien des Experimentierens beim Bearbeiten der Lernumgebungen genutzt werden. Dabei werden als Strategien des Experimentierens die unter Kapitel 3 genannten Strategien, basierend auf dem SDDS-Modell, verstanden. Das Ziel ist, den Experimentierzyklus aus Hypothese, Experiment und Schlussfolgerung zu erfassen. Für die Strategie „prüfbare Hypothesen aufstellen“, die Strategie „valide Experimente mit Isolierender Variablenkontrolle durchführen“ sowie für die Strategie „Schlussfolgerungen aus validen Experimenten ziehen“ wurden deshalb verhaltensbasierte Maße entwickelt. Diese Maße sind nicht unabhängig voneinander. So ist das Maß für „valide Experimente mit Isolierender Variablenkontrolle durchführen“ (IVK-Maß) in dem Maß für „prüfbare Hypothesen aufstellen“ (Hypothesen-Maß) enthalten, welches wiederum im Maß für „Schlussfolgerungen aus validen Experimenten ziehen“ (Schlussfolgerungs-Maß) enthalten ist. Dieses wird im Folgenden deutlich, wenn die einzelnen Maße näher beschrieben werden.

Ein Experiment mit isolierender Variablenkontrolle kann erfasst werden durch die Aktionen, die ein Lerner im Labor durchführt. So lautet die Beschreibung des IVK-Maßes wie folgt:

IVK-Maß: Die IVK-Strategie wird registriert, wenn zwei aufeinanderfolgende Experimente durchgeführt werden und im zweiten dieser Experimente alle Variablen bis auf eine konstant gehalten werden. Das IVK-Maß gibt den Anteil der Experimente mit durchgeführter isolierender Variablenkontrolle an allen durchgeführten Experimenten wieder. Es variiert somit zwischen 0 und 1.

Auf dem Notizblock können, wie in Kapitel 7 beschrieben, Beziehungen zwischen Variablen eingezeichnet werden. Um diese eingezeichneten Relationen als Hypothesen werten zu können, wird der Bezug zu einem passenden IVK-Experiment in das Maß mit aufgenommen. So werden beispielsweise eingezeichnete Relationen, die nicht die Intention einer Hypothese besitzen, sondern beispielsweise aus Spielerei eingezeichnet werden, nicht fälschlicherweise als Hypothesen gewertet. Das Hypothesen-Maß lässt sich entsprechend beschreiben:

Hypothesen-Maß: Als Hypothese wird eine eingezeichnete Relation dann gewertet, wenn nachfolgend dazu ein passendes systematisches Experiment gemacht wird beziehungsweise ihr ein solches Experiment vorausgeht. Als passend und systematisch werden dabei solche Experimente gezählt, die die festgehaltene Relation im Sinne der Isolierenden Variablenkontrolle (IVK) überprüfen. Als Notiz werden alle eingezeichneten Relationen gewertet unabhängig davon, ob sie in Experimenten überprüft werden oder nicht. Das Hypothesen-Maß gibt den Anteil der auf dem Notizblock festgehaltenen Hypothesen an allen darauf festgehaltenen Notizen wieder. Es kann somit zwischen 0 und 1 variieren.

Ebenfalls werden Aktionen im Notizblock genutzt, um das Ziehen von Schlussfolgerungen zu erfassen. Hierfür wird die Funktion genutzt, dass eingezeichneten Relationen blinken und erst durch einen Doppelklick fixiert werden können (vgl. Kapitel 7). Den Lernern wird im Tutorial vermittelt, dass mit dem Fixieren einer blinkenden Relation aus einer Idee (Hypothese) eine gesicherte Aussage (Schlussfolgerung) gemacht werden kann. Der Lerner kann so ausdrücken, dass es sich nun um eine Schlussfolgerung und keine Hypothese mehr handelt. Als Schlussfolgerungen werden also durch Doppelklick fixierte Hypothesen gewertet. Das Maß lässt sich wie folgt beschreiben:

Schlussfolgerungs-Maß: Eine Schlussfolgerung wird erfasst, sobald eine Hypothese im Sinne des Hypothesen-Maßes durch einen Doppelklick gesichert wird. Im

Schlussfolgerungs-Maß wird der Anteil der Schlussfolgerungen an allen Hypothesen wiedergegeben, die Werte können also zwischen 0 und 1 variieren.

Dadurch, dass das IVK-Maß Bestandteil des Hypothesen-Maßes ist, welches wiederum im Schlussfolgerungs-Maß enthalten ist, lässt sich eine Hierarchie in den Maßen ausmachen. Das Schlussfolgerungs-Maß erfasst alle drei Bestandteile des Experimentierzyklus. Die Qualität des strategischen Experimentierens ist im Schlussfolgerungs-Maß somit umfassender repräsentiert als im Hypothesen-Maß. Dieses beinhaltet zwei der drei Bestandteile des Experimentierzyklus und ist so umfassender als das IVK-Maß, das nur einen Bestandteil erfasst.

8.2 Entwicklung und Evaluation eines Strategiewissenstests im Bereich Experimentieren

Im Folgenden wird die Weiterentwicklung und Evaluation eines Tests beschrieben, der das Strategiewissen im Bereich Experimentieren erfassen soll. Der Nutzen eines solchen Tests liegt zunächst in seinem diagnostischen Wert. Nur wenn Strategiewissen und Strategienutzung getrennt erfasst werden, lässt sich herausfinden, ob es sich bei nicht gezeigter Strategieanwendung um ein Verfügbarkeits- oder Produktionsdefizit handelt (siehe Kapitel 4). Außerdem lassen sich Unterstützungsmaßnahmen adaptiver gestalten, wenn das Ausmaß an Strategiewissen bekannt ist. Es kann so festgestellt werden, ob die Schüler zusätzliches Wissen über Strategien des Experimentierens benötigen.

In ihrer Dissertation hat Thillmann (2008) bereits einen Test, den Essener Experimentierstrategie-Wissenstest (EEST), zum metakognitiven Strategiewissen im Bereich Experimentieren entwickelt. Dieser Test war eine Adaptation an bisherige Verfahren zur Erfassung von Lernstrategien, wie den „Würzburger Lesestrategie-Wissenstest für die Klassen 7-12“ (WLST) von Schlagmüller und Schneider (2007). Der WLST misst das metakognitive Wissen über Textverarbeitungsstrategien. Um dieses Wissen in der Testsituation zu aktivieren, enthalten die Aufgaben konkrete Beschreibungen typischer Lernsituationen. Zu diesen Lernskizzen wird eine Auswahl an Handlungsalternativen vorgegeben, die unterschiedlich angemessen sind (siehe folgendes Beispiel).

Beispielitem aus dem WLST (Schlagmüller & Schneider, 2007):

Stell Dir vor, Du sollst einen längeren, etwa 3-seitigen Text zur Entstehung der Erde lernen, über den am nächsten Tag eine Schulaufgabe geschrieben werden soll. Wie kannst Du sicherstellen, dass Du den Text gut verstehst und über den Inhalt gut Bescheid weißt?

| | | Noten | | | | | |
|----|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| a. | <i>Ich lese den Text mehrmals durch.</i> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. | <i>Ich lese den Text einmal schnell durch und schreibe die Wörter heraus, die mir unbekannt sind.</i> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c. | <i>Ich lese den Text einmal gründlich durch und unterstreiche die Sätze, die ich für am wichtigsten halte.</i> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d. | <i>Ich lese den Text zweimal gründlich durch und versuche dann, ihn in eigenen Worten zusammenzufassen. Wenn das nicht gelingt, wiederhole ich diesen Vorgang.</i> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| e. | <i>Ich lese den Text einmal gründlich durch und unterstreiche die wichtigsten Wörter.</i> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Die Probanden bewerten die Angemessenheit der Handlungsalternativen mit Schulnoten. Diese Beurteilung des Probanden wird zur Auswertung mit einem aggregierten Expertenurteil abgeglichen. Zur Ermittlung des Expertenurteils wurde der Test von mehreren Experten ausgefüllt; deren Handlungsalternativen wurden in Rangfolgen gebracht. Aus diesen wurde dann eine gemittelte Rangfolge aller Experten gebildet. Die Rangfolge der Handlungsalternativen vom Probanden wird nun dieser gemittelten Experten-Rangfolge gegenübergestellt. Aus den Handlungsalternativen werden dazu vollständige Paarvergleiche gebildet; für jede Übereinstimmung zwischen Paarvergleich des Probanden und Paarvergleich des aggregierten Experten gibt es einen Punkt.

Thillmann (2008) hat für ihren EEST diesen Aufbau und dieses Auswertungsverfahren übernommen, wobei die Inhalte an Strategien im Bereich Experimentieren angepasst wurden. Der „Vorläufer-Test“ EEST enthielt unter anderem Aufgaben zur Experimentierstrategie der „Isolierenden Variablenkontrolle (IVK)“, jedoch nicht zu den Strategien „prüfbare Hypothesen aufstellen“ und „Schlussfolgerungen ziehen“. Basierend auf dem theoretischen Hintergrund zum SDL (siehe Kapitel 3), also dem SDDS-Modell (Klahr & Dunbar, 1988), werden nun in einem weiterentwickelten Test die drei Schritte (1) prüfbare Hypothesen aufstellen, (2) diese systematisch in Experimenten überprüfen (IVK-Strategie) und (3) daraus Schlussfolgerungen ziehen, aufgenommen. Dieser neue Test wird im Folgenden als EEST-2 bezeichnet.

Analog zum WLST und EEST wurde der Aufbau der Aufgaben des EEST-2 gestaltet, nämlich aus einer Situationsskizze, einer Zielvorgabe beziehungsweise Frage und

mehreren Handlungsalternativen. Bedingt durch diesen Aufbau prüft der Test auch weniger das deklarative Wissen über Experimentierstrategien, sondern vielmehr das konditionale Wissen und das relationale Wissen (siehe Kapitel 2.2). Die in den Aufgaben beschriebenen Situationen sind von alltagschemischem und -physikalischem sowie schulischem Inhalt, der als bekannt vorausgesetzt werden kann. Bei der Auswahl der Aufgabeninhalte wurde darauf geachtet, dass sie möglichst unabhängig von inhaltlichem Vorwissen zu lösen sind und außerdem darauf, dass keine fachinhaltlich falschen Alternativen als strategisch gute Alternativen formuliert wurden.

Für den EEST-2 wurden neue Aufgaben zu allen drei Strategien entwickelt und zudem auf eine bestehende Aufgabe aus dem EEST zur IVK-Strategie zurückgegriffen. Außerdem besitzt der EEST-2 mit einem Forced-Choice-Format mit vollständigem Paarvergleich ein verändertes Antwortformat als der EEST und der WLST. Wie beschrieben sollten beim EEST und WLST die Probanden den einzelnen Handlungsalternativen Schulnoten zuweisen. Zur Auswertung des Tests wurden allerdings Paarvergleiche gebildet und diese individuellen Paarvergleiche mit den Paarvergleichen abgeglichen, die sich aus einem aggregierten Expertenurteil ergaben. Durch die Änderung in das Forced-Choice-Format wird nun direkt die Information abgefragt, die auch ausgewertet wird, nämlich der Paarvergleich zwischen Handlungsalternativen. Beispielitems für die beiden Antwortformate finden sich auf Seite 90 unter der Beschreibung der Instrumente.

Zur ersten Pilotierung der Items und zur Erprobung des neuen Antwortformates wurden die neuen Aufgaben des EEST-2 an einer Studierendenstichprobe eingesetzt (siehe Abschnitt 8.2.1). Zur weiteren Validierung sowie zur Itemanalyse und -auswahl wurde eine nach der ersten Vorstudie modifizierte Version des Tests an einer Schülerstichprobe getestet (siehe Abschnitt 8.2.2).

8.2.1 Vorpilotierung an Studierenden

Die neu entwickelten Aufgaben zu den drei Inhaltsbereichen Hypothesen aufstellen, IVK-Strategie und Schlussfolgerungen ziehen wurden zunächst an einer Studentenstichprobe vorpilotiert.

Ziel der Studie

Ziel dieser ersten Vorstudie ist es, die neu entwickelten Aufgaben des Strategiewissenstests zum Experimentieren erstmals einzusetzen, um eine Auswahl an Items für einen reliablen Test treffen zu können und einen ersten Hinweis auf die Validität zu bekommen.

Die Auswertung des WLST und EEST stellt sich als unökonomisch dar. Die mit Schulnoten bewerteten Antwortalternativen werden nachträglich in Paarvergleiche übersetzt, die daraufhin mit einem aggregierten Expertenurteil verglichen werden. Das Forced-Choice-Antwortformat erfragt direkt den Paarvergleich und ist somit ökonomischer. Der Wechsel zum Forced-Choice-Format erfordert es, dass immer eine Antwortalternative als „besser“ als die andere gewertet werden kann. Die Antwortalternativen müssen also in eine eindeutige Rangfolge zu bringen sein. Dieses wurde für die Antwortalternativen im EEST-2 realisiert. Zudem bietet dieses Antwortformat den Vorteil, Inkonsistenzen im Antwortverhalten zu erkennen. Durch den Formatwechsel sollte sich allerdings nicht die Schwierigkeit des Tests verändern. Wichtig ist es deshalb zu prüfen, ob sich die Testwerte der Tests mit Forced-Choice-Antwortformat und mit Schulnoten-Antwortformat unterscheiden.

Methode

Instrumente

Strategiewissenstest zum Experimentieren (EEST-2). Die neu entwickelten Aufgaben des Strategiewissenstests zum Experimentieren präsentieren zu jedem Aufgabenstamm, in dem eine Experimentiersituation beschrieben wird, drei Handlungsalternativen. Die Handlungsalternativen wurden nach theoretischen Kriterien entwickelt, so dass strategisch elaborierte und weniger elaborierte Verhaltensweisen beschrieben werden, welche in eine eindeutige Rangfolge gebracht werden können. Bei drei Handlungsalternativen ergeben sich drei Paarvergleiche, also drei Items, pro Aufgabe.

Die insgesamt 15 neu entwickelten Aufgaben wurden auf zwei Testhefte verteilt. Jedes Testheft wurde im Forced-Choice-Format (neu) und im Schulnoten-Format (Format des Vorläufertests) erstellt, so dass vier unterschiedliche Testhefte mit je 7 bzw. 8 Aufgaben vorlagen.

Beispielitem im Schulnoten-Format:

Du hast die Aufgabe herauszufinden, ob sich die Raumtemperatur verändert, wenn die Kühlschranktür offen stehen bleibt.

Dir fallen folgende Vorgehensweisen ein, um die Frage zu beantworten. Bewerte die Vorgehensweisen mit Noten von 1 bis 6:

1 2 3 4 5 6

- a) *Ich messe die Raumtemperatur bei offen stehender Kühlschranktür.* ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
- b) *Ich messe die Raumtemperatur vor und nach dem Öffnen der Kühlschranktür.* ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐
- c) *Ich messe die Raumtemperatur mehrmals vor dem Öffnen und mehrmals nach dem Öffnen der Kühlschranktür.* ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Beispielitem im Forced-Choice-Format:

Du hast die Aufgabe herauszufinden, ob sich die Raumtemperatur verändert, wenn die Kühlschranktür offen stehen bleibt.

Dir fallen folgende Vorgehensweisen ein, um die Frage zu beantworten. Bewerte die Vorgehensweisen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:

1. *Ich messe die Raumtemperatur bei offen stehender Kühlschranktür.* ☐
- Ich messe die Raumtemperatur vor und nach dem Öffnen der Kühlschranktür.* ☐
2. *Ich messe die Raumtemperatur bei offen stehender Kühlschranktür.* ☐
- Ich messe die Raumtemperatur mehrmals vor dem Öffnen und mehrmals nach dem Öffnen der Kühlschranktür.* ☐
3. *Ich messe die Raumtemperatur vor und nach dem Öffnen der Kühlschranktür.* ☐
- Ich messe die Raumtemperatur mehrmals vor dem Öffnen und mehrmals nach dem Öffnen der Kühlschranktür.* ☐

Auswertung: Um zunächst das theoretisch basierte Rating abzusichern, wurden Expertenratings eingeholt (siehe Durchführung). Aus diesen Expertenurteilen lässt sich ein aggregiertes Expertenurteil berechnen, mit dem die Probandenurteile verglichen werden können.

Die Auswertung des Tests fand für die Schulnotenversion analog zum WLST bzw. EEST statt. Hier wurden nachträglich aus den Noten Paarvergleiche über je zwei

Handlungsalternativen erstellt. Aus diesen Paarvergleichen ging hervor, welche Handlungsalternative besser eingeschätzt wurde. Stimmte diese Einschätzung mit der Experteneinschätzung überein, gab es einen Punkt. Wurden zwei Alternativen als gleich gut (also mit derselben Note) bewertet, gab es einen halben Punkt. Die Summe aller Punkte geteilt durch die Anzahl aller Paarvergleiche ergab den Gesamtscore im Strategiewissen.

Die Auswertung des neuen Forced-Choice-Formats erfolgte, indem pro Item, d.h. pro vorgegebenem Paarvergleich, dann ein Punkt gegeben wurde, wenn die bessere Handlungsalternative angekreuzt wurde. Da es sich bei der Beantwortung aller drei Items zu einer Aufgabe um einen vollständigen Paarvergleich handelt, können Inkonsistenzen im Antwortmuster erkannt werden. Beurteilt man beispielsweise Antwort a als besser als Antwort b und Antwort b besser als Antwort c, müsste bei einem konsistenten Antwortverhalten im dritten Paarvergleich Antwort a besser beurteilt werden als Antwort c. Geschieht dieses nicht, handelt es sich um ein inkonsistentes Antwortmuster. Diese Inkonsistenzen werden als Hinweis dafür interpretiert, dass geraten wurde und zufällig eine der beiden Antworten als besser angekreuzt wurde. Diese zusätzliche Information wurde bei der Auswertung berücksichtigt, indem die inkonsistenten Antworten als „geraten“ und richtige Antworten somit nicht als richtig gezählt wurden. Der Gesamtscore im Strategiewissen ergibt sich somit aus der Anzahl richtig und konsistent beantworteter Items, geteilt durch die Anzahl aller Items.

Demografischer Fragebogen zu Studien- und Schulfächern. Es wurden zudem Informationen zu Studienfach und Fächerwahl (Grund- und Leistungskurse) in der Oberstufe sowie die Abiturnote über einem Fragebogen erfasst. Diese Angaben können für eine erste Validierung genutzt werden.

Stichprobe

Es nahmen 424 Studierende im Rahmen verschiedener Lehrveranstaltungen an der Universität Duisburg-Essen ($n = 275$) bzw. Universität Wien ($n = 149$) an der Vorstudie teil. Die Studierenden studierten entweder Lehramt mit verschiedensten Fächerkombinationen, Soziale Arbeit oder Psychologie.

Durchführung

Die vier Testhefte wurden mit dem Fragebogen zur Studien- und Fächerwahl in insgesamt drei unterschiedlichen Lehrveranstaltungen verteilt. In jeder Lehrveranstaltung wurden alle

vier Testhefte gleich verteilt ausgegeben, so dass jedes Testheft von je einem Viertel der Stichprobe ausgefüllt wurde. Die Bearbeitung des Tests und Fragebogens dauerte 10-20 Minuten.

Um die theoretisch begründete Rangfolge der Antwortalternativen zu validieren, wurden die Aufgaben des Strategiewissenstests zusätzlich von 10 Experten beantwortet, die sich aus einem Professor und neun Post-Doktoranden der Chemie- und Physikdidaktik zusammensetzten.

Ergebnisse

Im Folgenden wird zunächst berichtet, inwieweit die Expertenurteile mit der theoretisch begründeten Rangfolge der Antwortalternativen übereinstimmten. Dann werden die Ergebnisse zu den Auswertungsverfahren und Antwortformaten dargestellt. Am Ende wird auf die Verteilung der Stichprobe und auf die Reliabilität eingegangen und ein erster Hinweis auf die Validität des Tests berichtet.

Expertenübereinstimmung

Zur Interraterübereinstimmung der Experten untereinander und mit dem theoretisch begründeten Urteil wurde Cohens kappa berechnet. Im Mittel stimmten die 10 Experten untereinander mit einem Cohens kappa von $\kappa = .739$ überein, dabei schwankte der Übereinstimmungskoeffizient zwischen einzelnen Experten untereinander von $\kappa = .575$ bis $\kappa = .878$. Die Experten zeigen mit dem theoretischen Rating im Mittel ein kappa von $\kappa = .842$, hier variierte das kappa zwischen $\kappa = .629$ und $\kappa = 1$. Damit liegt im Mittel eine gute bis sehr gute Übereinstimmung vor.

Betrachtet man alle trennscharfen Items, hat die Mehrheit der Experten bei den Items so wie theoretisch angenommen geantwortet. Die Ausnahme bildete ein Item. Bei diesem wurden deshalb im Nachhinein die entsprechenden Handlungsalternativen deutlicher formuliert. Die theoretisch begründeten Urteile über die Paarvergleiche sind somit an Expertenurteilen validiert und stimmen mit dem aggregierten Expertenurteil überein.

Vergleich der Antwortformate

Zwischen den beiden Antwortformaten (Forced-Choice und Schulnoten) gab es keine bedeutsamen Unterschiede für den Gesamttest. Der Mittelwert für die Schulnoten-Version lag bei $M = .810$ ($SD = .126$) und der Mittelwert für die Forced-Choice-Version bei

$M = .803$ ($SD = .147$). Ein t-Test zeigte keinen bedeutsamen Unterschied ($t(411) = .572$; $p = .567$).

Deskriptive Verteilung der Stichprobe

Die Studierendenstichprobe wies einen Mittelwert von $M = .807$ ($SD = .137$) im Gesamttest auf, ein Wert von 1 würde völlige Übereinstimmung mit dem Experten bedeuten. Das Minimum lag bei .06 und das Maximum bei 1. Die Ergebnisse zeigen einen Deckeneffekt, das heißt, die Studenten verfügen im Mittel über ein sehr hohes Strategiewissen (siehe Abbildung 8.1).

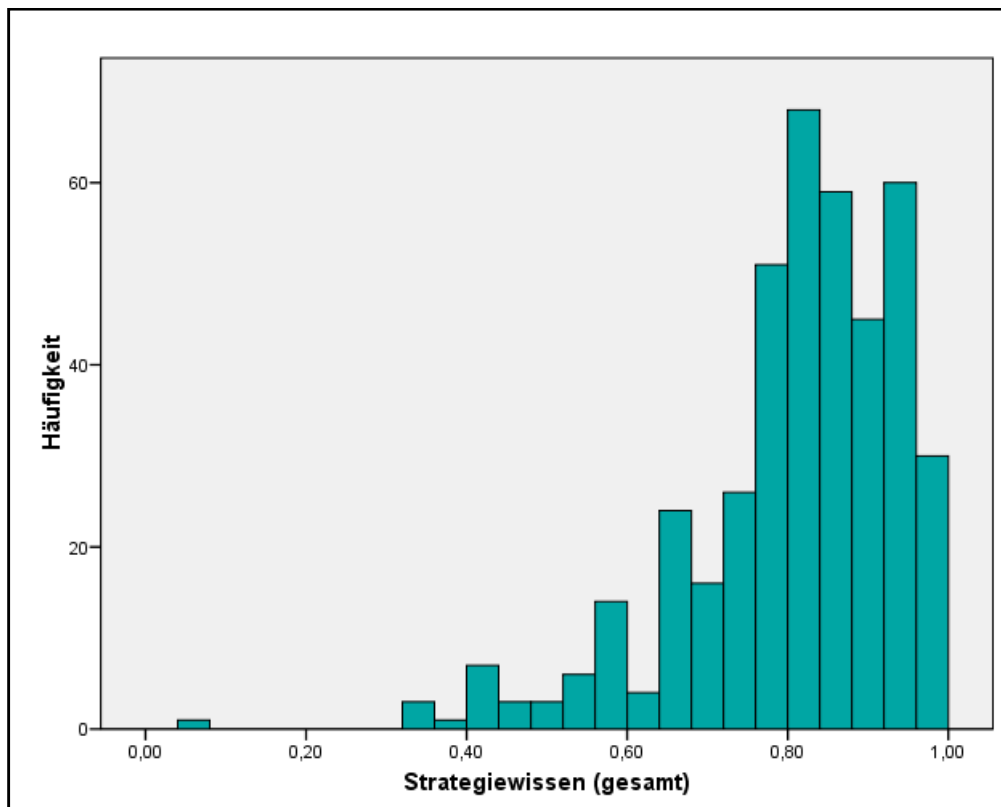


Abbildung 8.1: Verteilung der Studierendenstichprobe im Strategiewissenstest

Reliabilität

Durch eine Reliabilitätsanalyse konnten wenig trennscharfe Items aussortiert werden. Danach blieben für das eine Testheft 15 Items übrig mit einem Cronbachs $\alpha = .632$ und für das andere Testheft blieben 17 Items übrig, hier ergab sich ein Cronbachs $\alpha = .640$.

Validität

Zur Validitätsüberprüfung wurde das Studienfach der Probanden erfragt. Studienfächer wie Psychologie und Lehramt für Chemie und für Physik wurden zusammengefasst als Fächer, die sich stark mit Experimentieren beschäftigen. Diese Studienfächer trafen auf 30.9 % der untersuchten Studenten zu. 65.8 % studierten keines dieser Fächer, sondern Soziale Arbeit oder Lehramt für andere Fächer als Chemie oder Physik. Es zeigte sich ein Unterschied im Mittelwert zwischen den Studierenden mit Chemie, Physik oder Psychologie als Studienfach und den anderen Studierenden. Der Mittelwert der ersten Gruppe lag bei $M = .833$ ($SD = .121$) und der der zweiten Gruppe bei $M = .796$ ($SD = .139$). Dieser Unterschied erwies sich als statistisch signifikant ($F(1, 406) = 6.624$; $p < .01$).

Des Weiteren wurde nach der Leistungskurswahl in der Oberstufe gefragt (bzw. nach Vergleichbarem für die Studierenden aus Österreich); hier hatten nur 5.4 % der Studierenden die Fächer Chemie oder Physik gewählt. Bezüglich der Schulfächerwahl zeigten sich keine Unterschiede in den Testwerten.

Diskussion

Die Expertenurteile stimmten im Mittel mit dem theoretischen Expertenurteil überein, deshalb wurden die Aufgaben mit den zugehörigen Antworten beibehalten.

Der Wechsel des Antwortformats von Schulnoten auf Forced-Choice ist möglich, da beide Formate sich in der Schwierigkeit nicht signifikant unterschieden. Da die direkte Auswertung über die Paarvergleiche mit dem Forced-Choice-Format ökonomischer ist als über das Schulnoten-Format, wird dieses neue Format für den EEST-2 beibehalten.

Die Reliabilität des Tests ist mit einem $\alpha = .632$ (Testheft 1) beziehungsweise $\alpha = .640$ (Testheft 2) noch zufriedenstellend.

Nicht verwunderlich ist der gefundene Deckeneffekt bei einer Stichprobe von Studierenden, da der Test für Schüler der Mittelstufe konzipiert wurde. Deshalb wurde im Anschluss eine zweite Pilotierung des Tests an einer Schülerstichprobe durchgeführt (siehe Abschnitt 8.2.2).

Diese Studie zeigte schon einen ersten Hinweis auf die Konstruktvalidität des Tests, indem „Experten im Experimentieren“ (Studierende der Naturwissenschaften und Psychologie) besser abschnitten als Studierende, die aufgrund ihres Studienfachs eher nicht als Experten zu bezeichnen sind. Es sollten hier aber noch weitere Ergebnisse gefunden werden, die für die Konstruktvalidität des Tests sprechen.

8.2.2 Pilotierung an Schülern

Zur weiteren Pilotierung und Validitätsüberprüfung des EEST-2 wurden die nach der Vorpilotierung übriggebliebenen Aufgaben in einer weiteren Vorstudie, diesmal an einer Schülerstichprobe, eingesetzt. Da der Test für Schüler der Mittelstufe konzipiert wurde, sind hier andere Itemschwierigkeiten und kein Deckeneffekt im Vergleich zur Studierendenstichprobe zu erwarten.

Ziel der Studie

Diese Vorstudie dient der weiteren Pilotierung und Konstruktvalidierung des EEST-2 an einer Schülerstichprobe. Dazu lernen die Schüler in dieser Studie mit der in Kapitel 7.1 beschriebenen computerbasierten Experimentierumgebung. So können Strategienutzung und inhaltlicher Lernerfolg erfasst werden und in Verbindung zum Strategiewissen im Bereich Experimentieren gesetzt werden.

Für die Validierung soll die Annahme untersucht werden, dass Schüler mit einem naturwissenschaftlichen Schwerpunkt in der Schulbildung einen höheren Wert im EEST-2 aufweisen als Schüler ohne diesen Schwerpunkt. Die Annahme beruht auf der Begründung, dass Schüler mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt in der Schule bereits mehr Wissen über Experimentierstrategien erworben haben.

Des Weiteren werden Zusammenhänge zwischen Strategiewissen im Bereich Experimentieren und der Schulleistung geprüft. Strategiewissen im Bereich Experimentieren wird am ehesten im naturwissenschaftlichen Unterricht erworben. Ebenso sollte sich ein hohes Wissen in diesem Bereich positiv auf die Leistung in diesen Fächern auswirken. Von daher wird ein positiver Zusammenhang zwischen Strategiewissen im Bereich Experimentieren und der Physiknote vermutet. Ein geringerer aber positiver Zusammenhang zwischen der Mathematiknote und dem Strategiewissen wird angenommen, da eine hohe Korrelation zwischen Physik- und Mathematiknote anzunehmen ist. Zudem hängen sowohl die Mathematikleistung als auch das Strategiewissen mit der Fähigkeit zum logischen Denken zusammen. Kein Zusammenhang sollte dagegen zwischen der Englischnote und dem Strategiewissen im Bereich Experimentieren bestehen. Durch den Aufbau des Tests lässt sich nicht vermeiden, dass sich die Lesekompetenz auf die richtige Beantwortung des Tests auswirkt. Somit ist ein positiver Zusammenhang zwischen Deutschnote und Strategiewissen zu vermuten, auch

wenn das Strategiewissen im Bereich Experimentieren inhaltlich nicht mit der Leistung im Fach Deutsch in Zusammenhang steht.

Ebenfalls geprüft wird der Zusammenhang zwischen Strategiewissen im Bereich Experimentieren und dem inhaltlichem Wissen zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“, das Schüler in der eingesetzten computerbasierten Experimentierumgebung erwerben können. Hier werden positive Zusammenhänge erwartet. Eine hohe Ausprägung der einen Wissensart sollte den Erwerb der anderen Wissensart erleichtern.

Will man den Zusammenhang zwischen Strategiewissen und Strategienutzung zur Konstruktvalidierung verwenden, ist Folgendes zu beachten: Aufgrund eines vermuteten Produktionsdefizits (vgl. Kapitel 4) sind keine hohen positiven Zusammenhänge zu erwarten (vgl. Kapitel 6). Gegen die Validität des EEST-2 würden allerdings negative Korrelationen zwischen Strategienutzung und Strategiewissen sprechen. Geht man von einem Produktionsdefizit aus, bei dem zwar ausreichend Strategiewissen vorliegt, es aber nicht in der Strategienutzung zur Anwendung kommt, werden keine bis geringe positive Zusammenhänge zwischen Strategiewissen und Strategienutzung erwartet.

Methode

Instrumente

Computerbasierte Lernumgebung mit logfile-basierten Verhaltensmaßen zur Strategienutzung. In dieser Vorstudie wurde die computerbasierte Lernumgebung zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ (siehe Abschnitt 7.1) eingesetzt. Diese ermöglicht die Erfassung verhaltensbasierter Strategienutzungsmaße. Die unterschiedlichen logfile-basierten Maße sind unter Abschnitt 8.1 beschrieben. Relevant für diese Studie sind folgende Maße: Hypothesen-Maß, IVK-Maß und Schlussfolgerungs-Maß.

Wissenserwerbstest (WET) zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“. Um das Inhaltswissen und so den inhaltlichen Lerngewinn messen zu können, wurde ein Wissenstest zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ in einer parallelen Prä- und Posttestversion eingesetzt. Hierbei handelt es sich um einen inhaltsvaliden Test nach Klauer (1987). Als Grundlage für die Aufgaben dienen alle relevanten Relationen des Themas, die durch die eingesetzte Lernumgebung erlernbar sind. Aus Zeitgründen wurde ein verkürzter Prätest eingesetzt. Er bestand aus 7 Items, der Posttest aus 12 Items.

Beispielitem:

Was passiert, wenn man bei einem Körper, den man ins Wasser wirft, sein Volumen (V) verkleinert und die Masse (m) gleich bleibt?

- a) Die Kraft F_G wird größer.*
- b) Die Kraft F_G wird kleiner.*
- c) Die Kraft F_A wird größer.*
- d) Die Kraft F_A wird kleiner.*
- e) Weiß ich nicht.*

Die Items liegen im Multiple-Choice-Format vor. Es gibt nur eine richtige Antwortalternative und die Möglichkeit die Antwortalternative „Weiß ich nicht“ anzukreuzen, um so die Wahrscheinlichkeit des Ratens zu vermindern (vgl. Bolton, 1985). Um den Gesamtscore zu erhalten, werden alle richtig beantworteten Items addiert und dann durch die Gesamtanzahl der Items dividiert.

Die Wissenserwerbstests werden am Computer dargeboten, es wird jeweils immer nur eine Aufgabe auf dem Bildschirm präsentiert. Per Mausklick kann stets nur eine Antwortalternative angekreuzt werden. Nur nach Anklicken einer Antwort gibt es die Möglichkeit auf „weiter“ zu klicken, dann folgt die nächste Aufgabe. Ein Zurückgehen zur vorherigen Aufgabe ist nicht möglich.

Die Reliabilitäten der Tests lagen für den Prätest bei einem Cronbachs $\alpha = .643$ und bei dem Posttest bei einem Cronbachs $\alpha = .745$.

Strategiewissenstest EEST-2. Der neu entwickelte Strategiewissenstest wurde als Paper-Pencil-Test eingesetzt. Alle Aufgaben lagen im Forced-Choice-Format vor. Da es sich um zu viele Aufgaben für ein Testheft handelte, wurden sie auf zwei Testhefte verteilt, so dass jedes Testheft (Version A und Version B) sieben Aufgaben mit jeweils drei Items (Paarvergleiche) enthielt. Die Hälfte der Stichprobe bearbeitete Version A, die andere Hälfte Version B. Insgesamt handelte es sich um elf verschiedene Aufgaben und drei Aufgaben, die in beiden Versionen vorkamen. Jeweils zwei Aufgaben im Testheft beziehen sich auf Hypothesen aufstellen, systematische Experimente durchführen (IVK-Strategie) und Schlussfolgerungen ziehen und je eine Aufgabe auf den Gesamt Ablauf beim Experimentieren.

Der Gesamtscore berechnet sich aus der Summe aller richtig gelösten Items, geteilt durch die Gesamtanzahl der Items. Da es sich bei der Beantwortung um einen vollständigen Paarvergleich handelt, können Inkonsistenzen im Antwortmuster erkannt werden.

Inkonsistenzen werden als Hinweis darauf gesehen, dass geraten wurde und insofern werden in diesem Fall richtige Antworten nicht als richtig gewertet.

Fragebogen zu Interesse, Demografie und Schulnoten. Ein Interessefragebogen zu dem Fach Physik (nach Baumert, Roeder, Sang und Schmitz, 1986) wurde für weitere Analysen erhoben, spielt aber für die hier berichtete Studie keine weitere Rolle. Er besteht aus sechs Items, bei denen die Schüler ihr allgemeines Interesse am Fach Physik auf einer vierstufigen Likert-Skala von „trifft gar nicht zu“ (1) bis „trifft völlig zu“ (4) angeben sollen. Ein Beispielitem lautet:

„Mir liegt viel daran in Physik viel zu wissen.“

Der Gesamtscore errechnet sich, indem alle Werte addiert werden und die Summe durch die Gesamtzahl der Items dividiert wird.

In diesem Fragebogen wurden demografische Daten von den Schülern erfragt, wie Alter, Geschlecht, Muttersprache und zur Validierung die Schulnoten der Fächer Physik, Mathe, Deutsch und Englisch.

Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM). Ebenfalls für weitere Analysen wurden die Unterskalen ‚Herausforderung‘ und ‚Interesse‘ aus dem Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM; Rheinberg, Vollmeyer & Burns, 2001) erfasst, ohne dass in dieser Studie darauf weiter Bezug genommen wird. Ein Beispielitem lautet:

„Nach dem Lesen der Instruktion erscheint mir die Aufgabe sehr interessant.“

Beantwortet werden die Items auf einer siebenstufigen Likert-Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft zu“ (7). Der Gesamtscore errechnet sich, indem alle Werte addiert werden und die Summe durch die Gesamtzahl der Items dividiert wird.

Stichprobe

Durchgeführt wurde die Untersuchung in sechs Schulklassen an insgesamt 109 Schülern. Die Schüler waren im Durchschnitt 14 Jahre alt ($SD = 0.629$) und zu 54 % Jungen.

Aufgrund von technischen Problemen mit der computerbasierten Lernumgebung, welche sich zu dem Zeitpunkt noch in der Testphase befand, kam es zu fehlenden logfile-Dateien. Einige Fälle mussten ausgeschlossen werden, weil die Schüler aufgrund von PC-Problemen und Programmabstürzen nicht arbeiten konnten. Aus diesen Gründen lagen schließlich Daten zum Strategiewissenstest von 109 Personen vor und logfile-basierte Daten von 86 Personen.

Die sechs Klassen waren aus den Jahrgangsstufen 8 und 9 von zwei Düsseldorfer Gymnasien. Wobei je eine 8. und eine 9. Klasse sogenannte NW-Klassen waren, das heißt Klassen, die einen stärkeren Fokus auf naturwissenschaftlichen Unterricht legen als andere Klassen. Keine der Klassen hatte das Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ bisher im Unterricht bearbeitet.

Durchführung

Die Untersuchung fand in der Schule zur regulären Schulzeit statt. Sie beanspruchte insgesamt etwa eine Schuldoppelstunde (ca. 90 min.). Die Untersuchung fand in den PC-Räumen der Schulen statt. Da die Anzahl der Schulrechner nicht ausreichend war, wurden zusätzliche Laptops mitgebracht.

Während des Untersuchungszeitraums bearbeiteten die Schüler zunächst den demografischen Fragebogen, den Interessefragebogen und den EEST-2. Die Hälfte der Schüler bearbeitete Version A und die andere Hälfte Version B. Dieses dauerte in etwa 10-15 Minuten. Im Anschluss daran arbeitete jeder Schüler mit der computerbasierten Lernumgebung. Diese startete mit dem Vorwissenstest zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“. Danach folgten die zwei Tutorials, in denen den Schülern die Funktionen des Programms erläutert wurden und der Umgang mit dem Programm eingeübt wurde. Nach den Tutorials musste der Fragebogen zur aktuellen Motivation beantwortet werden. Daraufhin startete die 15-minütige Lernphase, in der die Schüler selbstreguliert die Lernumgebung bearbeiteten; dabei wurden die logfile-basierten Strategienutzungsmaße erfasst. Nach Ablauf der 15 Minuten folgte die Post-Messung des Wissenserwerbstests zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“. Danach war die Arbeit am Computer beendet und die Schüler bearbeiteten noch einmal die gleiche Version des EEST-2 wie vor Bearbeitung der Lernumgebung. Damit war die Untersuchung beendet, den Schülern wurde gedankt und sie bekamen Süßigkeiten als Dankeschön.

Ergebnisse

Reliabilität

Durch Itemselektion konnten zufrieden stellende interne Konsistenzen für beide Testhefte erreicht werden (siehe Tabelle 8.1). Testheft A erwies sich als Testversion mit der höheren Reliabilität. Die Mittelwerte beider Testhefte lagen in einem vergleichbaren Bereich zwischen $M = .608$ und $M = .683$. Wobei die Werte zum Messzeitpunkt post geringer ausfielen als zum Messzeitpunkt prä (vgl. Tabelle 8.1).

Tabelle 8.1: Reliabilitäten des Strategiewissenstests

| Testheftversion des EEST-2: | Cronbachs α | Schwierigkeit | | | Anzahl der Items |
|--------------------------------|--------------------|---------------|------------|----------|------------------|
| | | <i>Min</i> | <i>Max</i> | <i>M</i> | |
| A prä | .663 | .392 | .922 | .683 | 14 |
| A post | .809 | .352 | .796 | .639 | 14 |
| B prä | .651 | .255 | .843 | .664 | 17 |
| B post | .666 | .320 | .820 | .608 | 17 |

Validitätsüberprüfung

Im Folgenden wurden für das Strategiewissen die z-standardisierten Werte beider Testhefte verwendet.

Überprüft wurde zunächst, ob „Experimentier-Experten“, in diesem Fall die Schüler aus den NW-Klassen, höhere Werte im Strategiewissen erzielten als die Schüler der „normalen“ Klassen. Wie erwartet, erreichten die Schüler aus den zwei NW-Klassen sowohl zum Messzeitpunkt prä ($t(107) = 2.649$; $p < .01$) als auch zum Messzeitpunkt post ($t(105) = 3.209$; $p < 0.01$) einen signifikant höheren Strategiewissensscore als die Schüler ohne naturwissenschaftlichen Schwerpunkt (Mittelwerte siehe Tabelle 8.2).

Tabelle 8.2: Vergleich der Klassen mit und ohne naturwissenschaftlichen Schwerpunkt

| | Schüler mit NW-Schwerpunkt ($n = 27$) | | Schüler ohne NW-Schwerpunkt ($n = 82$) | |
|----------------------|--|-----------|---|-----------|
| | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> |
| Strategiewissen prä | 0.684 | 0.153 | 0.595 | 0.152 |
| Strategiewissen post | 0.667 | 0.166 | 0.540 | 0.178 |

Weitere Validitätshinweise liefern die Korrelationen² zwischen Strategiewissen und Schulnoten (siehe Tabelle 8.3). Wie zu erwarten, finden sich die höchsten Korrelationen mit den Noten in den Fächern Physik und Deutsch. Unter anderem bedingt durch die hohe Korrelation von Mathematiknote und Physiknote ($r = .599$; $p < .01$), ist auch der Zusammenhang zwischen Strategiewissen und Mathematiknote positiv. Ebenfalls wie

² Die Korrelationen sind negativ, da bei Schulnoten die Eins die beste und die Sechs die schlechteste Note ist. Es handelt sich also um positive Zusammenhänge.

erwartet, zeigt sich keine bedeutsame Korrelation zwischen Strategiewissen und der Englischnote.

Tabelle 8.3: Korrelationen zwischen Schulnoten und Strategiewissen

| | Physik | Mathematik | Deutsch | Englisch |
|----------------------|---------|------------|---------|----------|
| Strategiewissen prä | -.369** | -.213* | -.366** | .024 |
| Strategiewissen post | -.354** | -.278** | -.403** | -.067 |

(* $p < .05$; ** $p < .01$)

Zur weiteren Überprüfung der Konstruktvalidität wurden die Korrelationen zwischen dem Strategiewissen und dem inhaltlichen Wissen zu beiden Messzeitpunkten sowie dem residualen Lerngewinn berechnet (siehe Tabelle 8.4). Der residuale Lerngewinn ergibt sich aus den standardisierten Residuen einer berechneten Regressionsanalyse zur Vorhersage des Inhaltswissens post durch das Inhaltswissen prä. Diese Korrelationen fielen erwartungsgemäß positiv aus.

Tabelle 8.4: Korrelationen zwischen Inhaltswissen und Strategiewissen

| | Inhaltswissen prä | Inhaltswissen post | Residualer Lerngewinn |
|----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| Strategiewissen prä | .332** | .351** | .247* |
| Strategiewissen post | .469** | .511** | .333** |

(* $p < .05$; ** $p < .01$)

Zusätzlich zeigte eine Überprüfung von Korrelationsunterschieden, dass die Korrelation zwischen dem Strategiewissen post und dem Inhaltswissen post ($r = .511$) gegenüber der Korrelation zwischen dem Strategiewissen prä und dem Inhaltswissen post ($r = .351$) signifikant höher ausfiel ($t(101) = 2.225$; $p < .05$). Dieses Ergebnis spricht dafür, dass das Strategiewissen durch die Experimentierumgebung aktiviert wurde und deshalb zum Post-Messzeitpunkt stärker mit dem inhaltlichen Wissen korreliert.

Des Weiteren wurde der Zusammenhang zwischen Strategiewissen und Strategienutzung untersucht. Tabelle 8.5 zeigt keine negativen Zusammenhänge. Wie aufgrund des vermuteten Produktionsdefizits erwartet zeigen sich keine beziehungsweise im Fall des Hypothesen-Maßes geringe positive Zusammenhänge zwischen Strategienutzung und Strategiewissen.

Tabelle 8.5: Korrelationen zwischen Strategiewissen und Strategienutzung

| | IVK-Maß | Hypothesen-Maß | Schlussfolgerungs-Maß |
|----------------------|---------|----------------|-----------------------|
| Strategiewissen prä | .062 | .124 | .000 |
| Strategiewissen post | .101 | .233* | .082 |

(* $p < .05$)

Zur weiteren Analyse wurde der Test in eine Hypothesen-Subskala, eine IVK-Subskala und eine Schlussfolgern-Subskala untergliedert, um sie so mit den entsprechenden Strategienutzungsmaßen korrelieren zu können. Dabei war es durch Itemselektion nur für Testversion A möglich ausreichend hohe Reliabilitäten für die Subskalen zu bilden. Tabelle 8.6 zeigt, dass sich auch für Testversion A relativ geringe Reliabilitäten zeigten.

Tabelle 8.6: Reliabilitäten der Subskalen der Testversion A des Strategiewissenstests

| Subskala des EEST-2: | Cronbachs α | Schwierigkeit | Anzahl der Items |
|--|--------------------|---------------|------------------|
| Hypothesen aufstellen | .530 | .484 | 5 |
| Isolierende Variablenkontrolle | .604 | .617 | 4 |
| Schlussfolgern / Ergebnisse festhalten | .619 | .656 | 5 |

Die Korrelationen mit den entsprechenden Strategienutzungsmaßen finden sich in Tabelle 8.7. Hier lag eine Stichprobe von $n = 32$ zugrunde, da nur Testheft A mit reliablen Subskalen verwendet werden konnte (s.o.).

Tabelle 8.7: Korrelationen der Subskalen mit den entsprechenden Strategienutzungsmaßen

| | Strategienutzungsmaß Hypothesen | Strategienutzungsmaß IVK | Strategienutzungsmaß Schlussfolgern |
|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--|
| Subskala Hypothesen | .266 | -.033 | .332 |
| Subskala IVK | .406* | .326 | .069 |
| Subskala Schlussfolgern | .285 | .118 | .168 |

(* $p < .05$)

Es zeigte sich, dass nicht immer, wie zu erwarten wäre, die höchsten Korrelationen zwischen den zwei korrespondierenden Maßen zu finden sind. So ist die höchste Korrelation zwischen der IVK-Subskala und dem Strategienutzungsmaß Hypothesen zu finden.

Diskussion

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen eine akzeptable Reliabilität des EEST-2. Die Mittelwerte im EEST-2 zeigen eine leichte Abnahme vom Prä- zum Postzeitpunkt. Die Schüler mussten innerhalb relativ kurzer Zeit zweimal denselben Test ausfüllen. Viele Schüler äußerten ihren Unmut darüber. Man kann vermuten, dass sie zum Postzeitpunkt weniger motiviert waren den Test auszufüllen. Bei zukünftigen Studien sollte die aktuelle Motivation der Schüler vor allem auch nach dem Lernen vor Ausfüllen der Posttests erhoben werden.

Die Studie liefert zudem einige Hinweise darauf, dass mit dem EEST-2 das Wissen über Experimentierstrategien valide erfasst werden kann. Sowohl der gefundene Unterschied zwischen naturwissenschaftlich stärker gebildeten Schülern aus den sogenannten NW-Klassen und Schülern aus normalen Klassen, als auch das Korrelationsmuster mit den verschiedenen Schulnoten sowie den positiven Korrelationen zwischen Strategiewissen und inhaltlichem Wissen beziehungsweise inhaltlichem Lerngewinn sprechen für die Konstruktvalidität.

Weniger stark im Sinne der Konstruktvalidierung zu interpretieren sind die Zusammenhänge zwischen dem Strategiewissen und den Strategienutzungsmaßen. Es zeigten sich keine negativen Zusammenhänge, die gegen die Validität gesprochen hätten. Das Vorliegen von fehlenden bzw. geringen positiven Zusammenhängen zwischen Strategiewissen und Strategienutzung muss nicht gegen die Validität sprechen. Vielmehr sind diese zu erwarten, wenn das vermutete Produktionsdefizit vorliegt (vgl. Kapitel 4). Dieser Frage nach einem Produktionsdefizit wird in der nachfolgenden Studie in Kapitel 9 weiter nachgegangen.

Die Korrelationen der Subskalen mit den Strategienutzungsmaßen zeigten Zusammenhänge zwischen Wissen und Nutzung von Strategien; allerdings nicht in der Art, dass jeweils die korrespondierenden Maße am höchsten korrelieren. Hierbei muss zur Interpretation der Ergebnisse beachtet werden, dass die Strategienutzungsmaße inhaltlich nicht unabhängig voneinander sind. Wie bereits beschrieben, ist im Hypothesen-Maß auch das IVK-Maß enthalten. Auch Schlussfolgerungen werden im Schlussfolgerungs-Maß nur

gezählt, wenn zunächst auch Hypothesen aufgestellt wurden (siehe hierzu auch Beschreibung der logfile-basierten Maße in Abschnitt 8.1).

Es scheint allerdings aufgrund der Daten wenig sinnvoll weiter auf Subskalenniveau zu analysieren, zumal die Reliabilitäten der Subskalen recht niedrig sind. Im Folgenden wird von Wissen über Experimentierstrategien in der Gesamtheit gesprochen. Der Test wird nicht weiter nach den drei Subskalen getrennt ausgewertet.

8.2.3 Fazit

Durch Pilotierungsstudien an zwei verschiedenen Stichproben und einer Experten-Befragung konnten die theoretisch entwickelten, neuen Aufgaben zur Erfassung des Wissens über Experimentierstrategien getestet werden. Anhand von Itemanalysen ließ sich am Ende eine Auswahl an Items finden, die den neuen Test EEST-2 bilden. Beide in diesem Kapitel beschriebenen Studien zur Entwicklung und Evaluation des weiterentwickelten Strategiewissenstests im Bereich Experimentieren sprechen in ihrer Gesamtheit dafür, dass mit den neu gewonnenen trennscharfen Items ein objektiver, valider und reliabler Test zur Verfügung steht. Er wird in der nachfolgenden Studie in dieser Arbeit eingesetzt, so dass hierbei weitere Daten zur Evaluation des Tests gewonnen werden können.

Somit besteht neben dem EEST nun ein weiterer standardisierter Test, der das konditionale und relationale Strategiewissen im Bereich Experimentieren erfasst. Dieser EEST-2 bezieht sich dabei auf die drei Strategien prüfbare Hypothesen aufstellen, diese in systematischen Experimenten (IVK-Strategie) überprüfen, und daraus richtige Schlussfolgerungen in Rückbezug auf die Hypothese ziehen. Wobei sich gezeigt hat, dass sich diese drei Strategien im Test nicht trennen lassen. Der EEST-2 ist inhaltlich auf einen bestimmten Bereich beschränkt, nämlich den Experimentierzyklus in den drei Schritten Hypothese, Experiment, Schlussfolgerung, und somit nicht gleichzusetzen mit einem Instrument, das Experimentierkompetenz in seiner Ganzheit erfassen will.

Für die weiteren Studien dieser Arbeit scheint diese Beschränkung allerdings angebracht, da auch bei der Strategienutzung auf diese drei Schritte fokussiert wird.

9. Korrelationsstudie zur Überprüfung des Produktionsdefizits

Nachdem in den letzten Kapiteln die (weiter-)entwickelten Instrumente und Materialien beschrieben wurden, um SRL durch Experimentieren zu erfassen, wurden diese nun in einer Studie eingesetzt, um die erste Forschungsfrage dieser Arbeit zu beantworten (siehe Kapitel 6). Dabei geht es darum, zu überprüfen, ob es empirische Hinweise für ein Produktionsdefizit gibt (vgl. Kapitel 4). Erstmals wurde in dieser Studie die neu entwickelte Experimentierumgebung zum chemischen Inhaltsbereich „Säuren und Basen“ eingesetzt. Neben der Beantwortung der ersten Forschungsfrage, kann diese Studie weiterhin Aufschluss zur Evaluation der eingesetzten Instrumente geben (siehe dazu auch Gößling, 2010).

Die genaue Forschungsfrage mit der daraus resultierenden Hypothese wird zunächst nachfolgend beschrieben, bevor in Unterkapitel 9.2 die Methode dargestellt wird. Es folgen in Unterkapitel 9.3 die zu berichtenden Ergebnisse, die am Ende des Kapitels unter 9.4 diskutiert werden.

9.1 Fragestellung und Hypothesen

Diese Korrelationsstudie diene dazu, zu prüfen, ob sich das vermutete Produktionsdefizit als Ursache für fehlende oder fehlerhafte Strategienutzung beim SRL durch Experimentieren (vgl. Thillmann, 2008; Veenman et al., 2005) durch weitere empirische Daten rechtfertigen lässt. Dazu wurden Maße für Strategiewissen und Strategienutzung weiterentwickelt (siehe Kapitel 8), ebenso wurde die Lernumgebung, in der dieses überprüft werden sollte, optimiert und um einen neuen Inhaltsbereich erweitert (siehe Kapitel 7).

Die Forschungsfrage dieser Studie lautet:

Lassen sich empirische Hinweise finden, die die Annahme eines Produktionsdefizits hinsichtlich der Nutzung von Experimentierstrategien rechtfertigen?

Die Annahme ist, dass sich in beiden Inhaltsbereichen empirische Hinweise finden, die für ein Produktionsdefizit sprechen, da bei den Schülern der Sekundarstufe I des Gymnasiums davon ausgegangen wird, dass bei ihnen zwar Strategiewissen vorhanden ist, aber dennoch eine fehlende Strategienutzung vorliegt.

Die Hypothese lautet deshalb:

Hypothese 1: Es liegt ein Produktionsdefizit vor und damit folgendes Zusammenhangsmuster zwischen Strategiewissen und Strategienutzung: Die meisten Schüler weisen eine hohe Ausprägung im Strategiewissen in Kombination mit einer geringen Ausprägung in der Strategienutzung auf, aber kaum Schüler eine geringe Ausprägung im Strategiewissen kombiniert mit einer hohen Ausprägung in der Strategienutzung.

9.2 Methode

Dieses Unterkapitel beschreibt die Methode der durchgeführten Studie. Dabei werden zunächst alle eingesetzten Materialien und Instrumente beschrieben. Es folgt die Beschreibung der untersuchten Stichprobe, bevor dann die genaue Durchführung und der Ablauf der Studie erläutert werden.

9.2.1 Material und Instrumente

Computerbasierte Lernumgebungen

Eingesetzt wurden die in Kapitel 7 beschriebenen computerbasierten Experimentierumgebungen mit dem chemischen Inhalt „Säuren und Basen“ sowie mit dem physikalischen Inhalt „Auftrieb in Flüssigkeiten“. Mit diesen Experimentierumgebungen können Schüler selbstreguliert Wissen zu diesen Inhaltsbereichen erwerben.

Logfile-basierte Verhaltensmaße zur Strategienutzung

Der Einsatz der computerbasierten Experimentierumgebungen ermöglicht die Erfassung verhaltensbasierter Strategienutzungsmaße. Die unterschiedlichen Maße sind unter Abschnitt 8.1 beschrieben. In dieser Studie wurden folgende Maße eingesetzt: Das Hypothesen-Maß, das IVK-Maß und das Schlussfolgerungs-Maß. Diese Maße sind relationale Maße, d.h. sie geben den Anteil strategischer Aktionen an allen Aktionen einer Aktionsart an. Sie haben somit ein Minimum von null, d.h. keine Aktion ist als strategisch gut zu werten, und ein Maximum von eins, d.h. alle gezeigten Aktionen sind strategisch gut. Strategisch gut bedeutet in diesem Fall, es wurden die Experimentierstrategien, wie sie beispielsweise im SDDS-Modell (Klahr & Dunbar, 1988; vgl. Kapitel 3) beschrieben sind,

angewendet. Ein Wert von .50 im IVK-Maß würde beispielsweise bedeuten, dass 50 % der durchgeführten Experimente mit IVK-Strategie durchgeführt worden sind.

Wissenserwerbstest (WET) zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ und „Säuren und Basen“

Um das Inhaltswissen und somit den inhaltlichen Lerngewinn messen zu können, wurden inhaltsvalide Wissenstests eingesetzt. Zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ wurde der Wissenserwerbstest (WET Physik) aus der in 8.2.2 beschriebenen Pilotstudie eingesetzt. Die beiden Parallelversionen für Prä- und Post-Messung bestehen aus 14 Items, wobei sie neun gemeinsame Ankeritems haben. Dem Prätest ist ein sogenanntes Eisbrecheritem vorangestellt, also eine sehr leicht zu beantwortende Frage, somit sind es insgesamt 15 Items. Dieses Eisbrecheritem geht aber nicht mit in die Auswertung ein. Im Anhang B finden sich Prä- und Posttest des WET Physik.

Für den Inhalt „Säuren und Basen“ wurde analog ein Wissenserwerbstest (WET Chemie) mit zwei parallelen Testversionen für Prä- und Post-Messung entwickelt. Hier handelt es sich ebenfalls um einen inhaltsvaliden Test nach Klauer (1987). Als Grundlage für die Aufgaben dienen alle relevanten Relationen des Themas, die durch die eingesetzte Lernumgebung herauszufinden sind. Die Versionen des WET Chemie haben drei exakt identische und vier quasi identische Ankeritems; bei den letzteren sind nur die Begriffe saure Lösung und basische Lösung ausgetauscht.

Ein Beispielitem aus dem Prätest des WET Chemie lautet:

Was passiert, wenn man zu einer sauren Lösung Wasser dazugibt?

- f) Die Lösung wird neutral.*
- g) Die Lösung wird basisch.*
- h) Die Menge der H^+ -Ionen wird größer.*
- i) Die Menge der H^+ -Ionen bleibt gleich.*
- j) Weiß ich nicht.*

Wie der WET Physik besteht der WET Chemie aus 14 Multiple-Choice-Aufgaben mit nur einer richtigen Antwortmöglichkeit und mit der Möglichkeit die Antwort „Weiß ich nicht“ anzukreuzen. Dem Prätest ist auch hier ein Eisbrecheritem vorangestellt, somit sind es insgesamt 15 Items. Dieses Eisbrecheritem geht wie beim WET Physik nicht mit in die Auswertung ein. Um den Gesamtscore zu erhalten, werden alle richtig beantworteten Items aufaddiert und dann durch die Gesamtanzahl der Items dividiert.

Die Wissenserwerbstests werden in dieser Studie am Computer dargeboten, es wird dabei jeweils nur ein Item auf dem Bildschirm präsentiert. Per Mausklick kann stets nur eine Antwort angekreuzt werden. Erst nach Anklicken einer Antwort gibt es die Möglichkeit

auf „weiter“ zu klicken, dann folgt das nächste Item. Ein Zurückgehen zu vorherigen Items ist nicht möglich.

Strategiewissenstest zum Experimentieren (EEST-2)

Der weiterentwickelte Strategiewissenstest zum Experimentieren wurde hier in einer Version eingesetzt, die aus den in Kapitel 8.2 beschriebenen Pilotstudien resultierte. Das heißt, die Aufgaben bestehen auch hier aus einer Situationsskizze und drei Handlungsalternativen. Je zwei von den drei Alternativen werden als vollständiger Paarvergleich nacheinander mit der Aufforderung dargeboten, die jeweils bessere Vorgehensweise anzukreuzen. Der Test besteht aus sechs Aufgaben mit jeweils drei Items (Paarvergleiche). Jeweils zwei Aufgaben beziehen sich auf das Aufstellen von Hypothesen, auf das Durchführen systematischer Experimente mit IVK-Strategie und auf das Ziehen von Schlussfolgerungen. Zusätzlich wurde eine Version B des Tests eingesetzt zum Messen des Strategiewissens am zweiten Testtag. Diese Version B besteht ebenfalls aus sechs Aufgaben mit jeweils drei Items, wobei drei der Aufgaben, jeweils eine pro Aufgabentyp, auch in Version A enthalten sind.

Die Auswertung beider Versionen erfolgte wie unter Abschnitt 8.2.2 beschrieben.

In dieser Studie wird der EEST-2 computerbasiert präsentiert. Dabei wird jeweils nur ein Item mit dem zugehörigen Aufgabenstamm auf dem Bildschirm dargeboten. Per Mausklick kann nur eine der beiden Antwortalternativen angekreuzt werden. Erst nach Anklicken einer Antwort gibt es die Möglichkeit auf „weiter“ zu klicken, dann folgt das nächste Item. Ein Zurückgehen zu vorherigen Items ist nicht möglich.

Fragebogen zu Interesse, Demografie und Schulnoten

Wie in der Vorstudie (vgl. 8.2.2) wurde ein Interessefragebogen (nach Baumert et al., 1986), diesmal zu den Fächern Chemie und Physik, eingesetzt. Beide bestehen aus je sechs Items, bei dem die Schüler ihr allgemeines Interesse an den Fächern auf einer vierstufigen Skala von „trifft gar nicht zu“ (1) bis „trifft völlig zu“ (4) angeben sollten. Der Gesamtscore errechnet sich, indem alle Punktzahlen addiert werden und die Summe durch die Gesamtzahl der Items dividiert wird.

Außerdem wurden demografische Daten von den Schülern erfragt, wie Alter, Geschlecht, Muttersprache und die Schulnoten der Fächer Physik, Chemie, Mathematik, Deutsch und Englisch.

Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM)

Um die aktuelle Motivation vor und nach dem computerbasierten Experimentieren zu erfassen, wurden die Unterskalen ‚Herausforderung‘ und ‚Interesse‘ aus dem Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM; Rheinberg et al., 2001) eingesetzt. Die Items für den Posttest wurden leicht modifiziert, zum Beispiel „Nach dem Bearbeiten der Aufgabe [anstatt ‚Nach dem Lesen der Instruktion‘] erscheint sie mir sehr interessant.“ Die Items sind auf einer siebenstufigen Skala von „trifft nicht zu“ (1) bis „trifft zu“ (7) zu beantworten. Der Gesamtscore errechnet sich, indem alle Werte addiert werden und die Summe durch die Gesamtzahl der Items dividiert wird.

Kognitiver Fähigkeitstest (KFT)

Als Kontrollvariable wurden die kognitiven Fähigkeiten mit der Subskala „Figurale Analogien“ des Kognitiven Fähigkeitstests 4-12+ (KFT; Heller, Gaedicke & Weinläder, 1985) gemessen. Diese Subskala eignet sich als ökonomischer Schätzer für die allgemeine Intelligenz (Heller & Perleth, 2000). Es handelt sich dabei um 25 Items, in denen schlussfolgerndes Denken über räumlich-visuelle Aufgaben abgetestet wird. Um den Gesamtscore zu erhalten, werden alle richtig beantworteten Items addiert und die Summe durch die Gesamtanzahl der Items dividiert.

9.2.2 Stichprobe

Durchgeführt wurde die Untersuchung in zehn Schulklassen mit insgesamt 269 Schülern an acht Gymnasien in Düsseldorf und Krefeld. Es handelt sich dabei um drei 8. Klassen und sieben 9. Klassen. Nach Aussage der Lehrkräfte hatte keine der Klassen die Themen „Auftrieb in Flüssigkeiten“ und „Säuren und Basen“ bisher im Unterricht bearbeitet.

Das Alter der untersuchten Schüler lag zwischen 12 und 16 Jahren, wobei der Durchschnitt bei 14,19 Jahren ($SD = 0,836$) lag. Es waren zu 59,8 % männliche Schüler und zu 40,2 % weibliche Schüler.

Da die Version B des Strategiewissenstests erst ab der vierten Klasse zum Einsatz kam (siehe dazu Abschnitt 9.2.3), lagen für diesen Test nur Daten von $n = 188$ Personen vor.

9.2.3 Durchführung

Die Untersuchung fand zwischen Januar und Juni 2009 statt. Getestet wurde in Schulräumen zur regulären Schulzeit, an insgesamt zwei Tagen mit einer Woche Pause zwischen den beiden Testtagen. Pro Testtag wurde eine Schuldoppelstunde (90 min.) benötigt. Jedem Schüler wurde ein Laptop zur Verfügung gestellt, so dass individuelles Arbeiten möglich war.

Zu Beginn der Untersuchung wurde den Schülern kurz der Ablauf erklärt und sie wurden darauf hingewiesen, dass die Klasse, die am besten in den Tests abschneidet, 50 € Belohnung für die Klassenkasse erhält. Während des Untersuchungszeitraums bearbeiteten die Schüler am ersten Testtag zunächst den papierbasierten Fragebogen zu Demografie und Interesse, was etwa 5-10 Minuten Zeit in Anspruch nahm. Danach begann die Arbeit am Computer. Hier beantworteten die Schüler zunächst den auf dem Bildschirm dargebotenen Prätest zum Inhaltswissen (WET prä), was ca. 10-15 Minuten beanspruchte, gefolgt von dem Strategiewissenstest (EEST-2), für dessen Bearbeitung etwa 15 Minuten eingerechnet wurden. Für beide Tests war allerdings keine Bearbeitungsdauer vorgegeben, sondern die Schüler konnten in ihrem eigenen Tempo die Fragen beantworten. Im Anschluss daran folgten die zwei Tutorials (vgl. Kapitel 7), in denen den Schülern die Funktionen des Programms erläutert wurden und der Umgang mit dem Programm eingeübt wurde. Die Bearbeitungszeit der zwei Tutorials lag zwischen 20 und 25 Minuten. Sie schwankte je nachdem, ob Schüler Teile des Tutorials wiederholt anschauen wollten. Nach diesen Tutorials musste der Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM prä) beantwortet werden, was 2-3 Minuten dauerte. Im Anschluss daran startete die 15-minütige Explorationsphase, in der die Schüler selbstreguliert in der ersten Lernumgebung lernten. Danach wurde erneut die aktuelle Motivation (FAM post) erfasst, dann wieder der Wissenserwerbtest zum Inhalt (WET post) und noch einmal derselbe Strategiewissenstest (EEST-2) eingesetzt. Hierfür wurden in etwa die gleichen Bearbeitungszeiten eingerechnet wie beim ersten Einsatz der Tests. Danach waren die Arbeit am Computer und somit auch der erste Testtag beendet. Den Schülern wurde gedankt und sie bekamen Süßigkeiten.

Der zweite Testtag startete damit, dass die Schüler die Subskala „Figurale Analogien“ des KFT bearbeiteten. Wie laut Manual des KFT vorgegeben, hatten die Schüler dafür acht Minuten Zeit. Danach arbeitete wieder jeder Schüler am Computer. Dabei war der Ablauf ähnlich wie am ersten Testtag. Zunächst wurde das inhaltliche Vorwissen zu der an diesem Tag eingesetzten zweiten Lernumgebung mit dem entsprechenden Wissenserwerbtest

(WET prä) erfasst, dann das Strategiewissen mit dem EEST-2. Ab der vierten untersuchten Klasse wurde an dieser Stelle eine Parallelversion des Strategiewissenstest eingesetzt (EEST-2 B; siehe 9.2.1). Diese Vorgehensweise wurde gewählt, da sich in den bisher untersuchten Klassen herausstellte, dass die Schüler wenig motiviert waren ein weiteres Mal den gleichen Test auszufüllen. So äußerten die Schüler ihren Unmut darüber, schon zum dritten Mal dieselben Aufgaben beantworten zu müssen, was zum Teil in einer nicht ernsthaften Bearbeitung des Tests resultierte. Der Wechsel zu einer Parallelversion des Strategiewissenstests sollte dem Motivationsabfall beim Bearbeiten des Tests entgegenwirken (siehe hierzu 9.3.4). Es folgten die Tutorials zum Teil in verkürzter Form, weil die Schüler durch den ersten Testtag mit der generellen Handhabung des Programms vertraut gewesen sein sollten. Vor und nach der 15-minütigen Explorationsphase wurde wieder die aktuelle Motivation mit dem FAM erfasst. Zum Schluss wurde das Inhaltswissen mit dem entsprechenden WET post gemessen. Die Schüler bekamen auch dieses Mal Süßigkeiten als Dank für ihre Mitarbeit.

Es stellte sich vor allem die Lernumgebung zu „Säuren und Basen“ als sehr schwierig heraus. Die Schüler waren unter anderem bereits damit überfordert, sich die Begrifflichkeiten aus dem Tutorial zu merken. Als inhaltliche Hilfen wurden deshalb ab der fünften untersuchten Klasse „Glossare“ (siehe Anhang C) verteilt, in denen die wichtigsten Begriffe aus den Tutorials noch einmal erklärt wurden. Zudem erhielten die Schüler drei grobe Leitfragen, die den allgemeinen Auftrag „soviel wie möglich zu dem Thema herauszufinden“ etwas aufgliederten. Diese Zettel lagen an jedem Arbeitsplatz und konnten beim Bearbeiten der Lernumgebungen genutzt werden.

Über die Klassen hinweg wurde die Reihenfolge der beiden Lernumgebungen alterniert. So bearbeitete die Hälfte der Stichprobe zunächst die Lernumgebung zur Chemie und dann die Lernumgebung zur Physik, die andere Hälfte zunächst die Lernumgebung zur Physik und dann die Lernumgebung zur Chemie. Die Reihenfolge ist somit an bestimmte Klassen gebunden und wurde nicht innerhalb der Klassen variiert. Gegen letzteres sprachen Bedenken darüber, dass sich die Mitschüler nach dem ersten Testtag untereinander über die Inhalte der Lernumgebungen austauschen könnten.

9.3 Ergebnisse

Zunächst werden hier deskriptive Ergebnisse zu den eingesetzten Messinstrumenten beschrieben. Es folgen Ergebnisse zum inhaltlichen Wissenserwerb, zu

Reihenfolgeeffekten in Bezug auf die Reihenfolge der bearbeiteten Lernumgebungen sowie zur aktuellen Motivation im Verlauf der Testung. Es werden im Weiteren Ergebnisse zur weiteren Evaluation des Strategiewissenstests berichtet, bevor dann die Validität der Strategienutzungsmaße und schließlich zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage das Zusammenhangsmuster von Strategiewissen und Strategienutzung betrachtet wird.

9.3.1 Deskriptive Statistik

Tabelle 9.1 enthält die deskriptiven Statistiken der eingesetzten Messinstrumente sowie deren Reliabilitäten, angegeben als Cronbachs α . Der Tabelle ist zu entnehmen, dass die meisten Messinstrumente zufriedenstellende bis gute Reliabilitäten aufwiesen. Allerdings erreichte der Strategiewissenstest zum Experimentieren (EEST-2) als Prätest nur eine Reliabilität von Cronbachs $\alpha = .570$. Diese Beobachtung deckt sich mit der Annahme, dass durch die Aktivierung des Strategiewissens nach Bearbeitung der Experimentierumgebung die Postwerte reliabler sind. Daher fand die Itemselektion, aus der die 14 Items für einen reliablen Strategiewissenstest resultierten, aufgrund der Reliabilitätsanalyse des EEST-2 zum Postmesszeitpunkt statt. Für die B-Version des EEST-2 ergaben sich nach Itemselektion aufgrund der Reliabilitätsanalyse 13 trennscharfe Items.

Des Weiteren ist zu erkennen, dass die inhaltsbezogenen Wissenserwerbstests für Chemie (WET Chemie) einen niedrigen Mittelwert aufwiesen, also eine geringe Lösungswahrscheinlichkeit besaßen. Vor allem zeigte dieser Wissenstest auch im Posttest noch einen sehr niedrigen Mittelwert. Etwas höher, aber dennoch deutlich unter .50, lagen die Mittelwerte für den Wissenserwerbstest Physik (WET Physik). Dabei ist jedoch zu bedenken, dass die Schüler kein schulisches Vorwissen zu den Themen hatten und die Lernumgebung ohne Unterstützungsmaßnahmen bearbeiteten.

Tabelle 9.1: Mittelwerte, Standardabweichungen und Reliabilitäten der verwendeten Messinstrumente

| Messinstrument | N | M | SD | Reliabilität | Itemanzahl |
|----------------------------------|-----|------|------|--------------|------------|
| WET Prä Physik | 265 | .305 | .219 | .763 | 14 |
| WET Post Physik | 264 | .385 | .256 | .825 | 14 |
| WET Prä Chemie | 264 | .165 | .199 | .810 | 14 |
| WET Post Chemie | 263 | .241 | .209 | .771 | 14 |
| EEST-2 Prä zu T1 (Version A) | 265 | .641 | .171 | .570 | 14 |
| EEST-2 Post zu T1 (Version A) | 256 | .578 | .209 | .691 | 14 |
| EEST-2 Prä zu T2 (Version B) | 185 | .743 | .208 | .735 | 13 |
| Fachinteresse Physik | 268 | .497 | .231 | .888 | 6 |
| Fachinteresse Chemie | 267 | .595 | .249 | .910 | 6 |
| FAM Prä zu T1 | 263 | .494 | .207 | .823 | 9 |
| FAM Post zu T1 | 264 | .454 | .227 | .847 | 9 |
| FAM Prä zu T2 | 263 | .410 | .218 | .857 | 9 |
| FAM Post zu T2 | 265 | .385 | .225 | .862 | 9 |
| KFT Subskala | 266 | .696 | .203 | .842 | 25 |

Die subjektive Wahrnehmung der Schüler bezüglich der Unterschiede zwischen den beiden Experimentierumgebungen bestätigt diese empirischen Daten. Eine Befragung am Ende der Untersuchung zeigte, dass 68 % der Schüler die Chemie-Lernumgebung als schwieriger empfanden und 69 % gaben an, in Physik mehr gelernt zu haben als in Chemie. Daraus resultierte wohl auch, dass 62 % der Schüler die Physik-Lernumgebung besser gefallen hat.

Die Mittelwerte im EEST-2 liegen zwischen .578 und .743. Zwar liegen zu unserem entwickelten Strategiewissenstest keine Normdaten als Referenzwerte vor, aber diese Werte sprechen dafür, dass zumindest ein mittleres Strategiewissen vorhanden zu sein schien. Die Mittelwerte lagen signifikant über der Ratewahrscheinlichkeit, die aufgrund der Auswertung, welche die inkonsistenten Antwortmuster berücksichtigt, bei einem Wert von .42 liegt, wie T-Tests zeigen ($t_{A\text{ prä}}(264) = 20.964$, $p < .001$; $t_{A\text{ post}}(255) = 12.087$, $p < .001$; $t_B(184) = 21.098$, $p < .001$).

Die Mittelwerte für die aktuelle Motivation (FAM) zeigen deskriptiv die durch Beobachtung der Schüler vermutete Motivationsabnahme von Messzeitpunkt zu Messzeitpunkt (siehe hierzu Abschnitt 9.3.4).

Tabelle 9.2 enthält die deskriptiven Statistiken der hier relevanten Strategienutzungsmaße für die Lernumgebung Physik. Tabelle 9.3 enthält die deskriptiven Statistiken der hier relevanten Strategienutzungsmaße für die Lernumgebung Chemie.

Tabelle 9.2: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Strategienutzungsmaße der Physik-Lernumgebung

| Strategienutzungsmaße Lernumgebung Physik | N | M | SD |
|--|----------|----------|-----------|
| Hypothesen-Maß | 264 | .347 | .234 |
| IVK-Maß | 264 | .485 | .249 |
| Schlussfolgerungs-Maß | 264 | .116 | .177 |

Tabelle 9.3: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Strategienutzungsmaße der Chemie-Lernumgebung

| Strategienutzungsmaße Lernumgebung Chemie | N | M | SD |
|--|----------|----------|-----------|
| Hypothesen-Maß | 263 | .139 | .164 |
| IVK-Maß | 263 | .302 | .343 |
| Schlussfolgerungs-Maß | 263 | .156 | .190 |

Die Strategienutzungsmaße zeigten eher geringe Mittelwerte, wobei auch hier keine Normwerte zur Verfügung stehen. In der Physik-Lernumgebung zeigte sich, dass der Wert für das Schlussfolgerungs-Maß, das am stärksten den Experimentierzyklus repräsentiert (vgl. Kapitel 8.1), eindeutig am geringsten ist im Vergleich zum Hypothesen-Maß und IVK-Maß. In der Chemie-Lernumgebung zeigte das IVK-Maß, das am wenigsten Strategien umfasst (vgl. Kapitel 8.1), einen deutlich höheren Wert als das Hypothesen-Maß und das Schlussfolgerungs-Maß.

9.3.2 Inhaltlicher Wissenserwerb

Das Bearbeiten der computerbasierten Lernumgebungen führte zu einem signifikanten Lernzuwachs im Inhaltswissen. Die Schüler wussten anschließend mehr zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“. Der Mittelwert im WET Physik vor der Bearbeitung lag bei $M = .306$

($SD = .219$) und nach der Bearbeitung bei $M = .385$ ($SD = .256$). Dieser Unterschied ist statistisch signifikant ($t(256) = -5.763$; $p < .001$). Ebenso wussten die Schüler hinterher mehr zu „Säuren und Basen“. Hier lag der Mittelwert im WET Chemie vor der Bearbeitung bei $M = .166$ ($SD = .199$) und nach der Bearbeitung bei $M = .241$ ($SD = .209$). Dieser Unterschied ist ebenfalls statistisch signifikant ($t(262) = -5.459$; $p < .001$). Die beobachteten Effekte haben kleine Effektstärken von $d = .33$ bei Physik und $d = .37$ bei Chemie.

9.3.3 Reihenfolge bzw. Klassenunterschiede

Um Reihenfolgeeffekte zu kontrollieren wurde die Abfolge, welche Experimentierumgebung am ersten Tag und welche am zweiten Tag bearbeitet wurde, alterniert, allerdings nicht innerhalb einer Klasse (vgl. Abschnitt 9.2.3), sondern zwischen den Klassen. Insofern war eine bestimmte Reihenfolge an bestimmte Klassen gebunden. Es zeigte sich, dass die Klassen mit der Reihenfolge zuerst Physik und dann Chemie einen signifikant höheren Wert im Vorwissen Physik hatten ($M_{\text{Phy-Che}} = .362$; $M_{\text{Che-Phy}} = .242$; $t(263) = -4.598$; $p < .001$). Die Klassen mit dieser Reihenfolge erreichten, vermutlich aufgrund des hohen Vorwissens, auch keinen signifikanten Lernzuwachs im Inhaltswissen nach Bearbeiten der Physik Lernumgebung.

9.3.4 Verlauf der aktuellen Motivation

Die aktuelle Motivation (Mittelwerte FAM siehe Tabelle 9.1) sank von Messzeitpunkt zu Messzeitpunkt signifikant ab. Dieses wurde durch eine ANOVA mit Messwiederholung geprüft. Der Mauchly-Test hat gezeigt, dass die Sphärizitätsannahme verletzt ist ($\chi^2(5) = 102.05$, $p < .01$). Die Freiheitsgrade wurden deshalb korrigiert indem der Huynh-Feldt-Schätzer ($\epsilon = .81$) verwendet wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Motivation in Abhängigkeit vom Messzeitpunkt signifikant unterscheidet ($F(2.42, 616.82) = 36.55$, $p < .01$, $\eta^2 = .125$). Post hoc Tests mit Bonferroni-Korrektur zeigen signifikante Unterschiede zwischen allen vier Messzeitpunkten ($p < .01$).

Tabelle 9.4: Korrelationen zwischen Versionen des Strategiewissenstests und aktueller Motivation zu den drei Messzeitpunkten

| | Aktuelle Motivation zu Testtag 1 prä | Aktuelle Motivation zu Testtag 1 post | Aktuelle Motivation zu Testtag 2 prä |
|--|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Strategiewissen Version A zum gleichen Messzeitpunkt | .116 | .163** | .337** |
| Strategiewissen Version B zum gleichen Messzeitpunkt | / | / | .138 |

(** $p < .01$; * $p < .05$)

Mit jedem Messzeitpunkt zeigte sich eine höhere Korrelation zwischen dem Wert der Version A des Strategiewissenstests und der aktuellen Motivation. Es wurde mit jedem Messzeitpunkt auch mehr Unmut von den Schülern darüber geäußert, wieder den gleichen Test ausfüllen zu müssen. Deshalb wurde am zweiten Testtag ab der vierten untersuchten Klasse eine zweite Version des Strategiewissenstests (EEST-2 B) eingesetzt. Diese korrelierte nicht signifikant mit der aktuellen Motivation. Die Korrelationen zwischen Strategiewissen und aktueller Motivation sind in Tabelle 9.4 dargestellt.

9.3.5 Zur Evaluation des Strategiewissenstests

Reliabilitäten und Schwierigkeiten

Durchgeführte Reliabilitätsanalysen zeigten für den Strategiewissenstest noch zufriedenstellende Reliabilitäten. Wie Tabelle 9.1 zeigt, ergab sich für die Version A ein Cronbachs $\alpha = .570$ für den Prätest und ein Cronbachs $\alpha = .691$ für den Posttest bei insgesamt 14 Items. Die später zum zweiten Testtag eingesetzte Version B wies mit 13 Items ein Cronbachs $\alpha = .735$ auf. Die Schwierigkeiten lagen bei der Version A für den Prätest zwischen .279 und .906 mit einem Mittelwert von $M = .641$. Für den Posttest lagen sie zwischen .270 und .812 mit einem Mittelwert von $M = .578$. Die Schwierigkeiten der Version B lagen zwischen .535 und .870 mit einem Mittelwert von $M = .743$. Somit war die Version B einfacher. Allerdings lagen die Werte dieser Version nur für den zweiten Testtag vor. Insofern lässt sich nicht sagen, ob die Items auch einfacher gewesen wären, hätte man sie zum ersten Testtag eingesetzt.

Zusammenhang zwischen Strategiewissen und Inhaltswissen

Es ergaben sich, wie bereits bei der Pilotstudie, signifikante positive Korrelationen zwischen dem Strategiewissen und dem Inhaltswissen im Bereich „Auftrieb und Flüssigkeiten“. Tabelle 9.5 zeigt die Korrelationen zwischen dem Strategiewissen, gemessen vor und nach Bearbeitung der Lernumgebung zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“, und dem Inhaltswissen, ebenfalls vor und nach dem Lernen gemessen, und die Korrelationen zwischen Strategiewissen und dem residualen Lerngewinn.

Tabelle 9.5: Korrelationen zwischen Inhaltswissen zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ (WET Physik) und Strategiewissen (EEST-2)

| | EEST-2 prä (T1) | EEST-2 post (T1) | EEST-2 B Version (T2) |
|-----------------------|-----------------|------------------|-----------------------|
| WET Physik prä | .305** | .239** | .351** |
| WET Physik post | .261** | .383** | .561** |
| Residualer Lerngewinn | .111 | .309** | .472** |

(** $p < .01$; * $p < .05$)

Auch zwischen dem Inhaltswissen zu „Säuren und Basen“ und dem Strategiewissen (Version A) zeigten sich positive Korrelationen (siehe Tabelle 9.6), allerdings nicht mit dem inhaltlichen Vorwissen, was an der geringen Varianz des kaum vorhandenen Vorwissens zu diesem Thema liegen könnte. Die Version B zeigte hier allerdings keine signifikanten Korrelationen mit dem Inhaltswissen.

Tabelle 9.6: Korrelationen zwischen Inhaltswissen zu „Säuren und Basen“ (WET Chemie) und Strategiewissen (EEST-2)

| | EEST-2 Version A prä (T1) | EEST-2 Version A post (T1) | EEST-2 Version B (T2) |
|-----------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|
| WET Chemie prä | .081 | -.099 | .022 |
| WET Chemie post | .331** | .175 | .145 |
| Residualer Lerngewinn | .332** | .243** | .156 |

(** $p < .01$; * $p < .05$)

Da der residuale Lerngewinn positiv mit der Intelligenz korrelierte ($r = .155^*$ für Chemie; $r = .252^{**}$ für Physik) ebenso wie das Strategiewissen ($r = .215^{**}$ mit Strategiewissen T1 post; $r = .350$ mit Strategiewissen T2 B), wurden zusätzlich partielle Korrelationen zwischen residualem Lerngewinn und Strategiewissen berechnet, bei denen die Intelligenz kontrolliert wurde (siehe Tabelle 9.7).

Tabelle 9.7: Korrelationen zwischen Lerngewinn und Strategiewissen (EEST-2) bei Auspartialisierung der Intelligenz

| Unter Kontrolle der Intelligenz | EEST-2 Version A prä (T1) | EEST-2 Version A post (T1) | EEST-2 Version B (T2) |
|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Residueller Lerngewinn Physik | .108 | .272* | .392** |
| Residueller Lerngewinn Chemie | .323** | .228* | .138 |

(** $p < .01$; * $p < .05$)

Trotz der Auspartialisierung der Intelligenz bleiben die gefundenen positiven Korrelationsmuster zwischen dem Strategiewissen und dem residualen Lerngewinn für Physik und Chemie bestehen.

Zusammenhang zwischen Strategiewissen und Schulnoten

Wie bereits in der Pilotstudie wurden auch in dieser Studie die Schulnoten erfragt. So konnte geprüft werden, ob ein positiver Zusammenhang zwischen Strategiewissen im Bereich Experimentieren und guten Schulleistungen, vor allem in den naturwissenschaftlichen Fächern, vorliegt.

Tabelle 9.8: Korrelationen zwischen Schulnoten und Strategiewissen (EEST-2)

| | Chemie | Physik | Mathematik | Englisch | Deutsch |
|--------------------------|---------|---------|------------|----------|---------|
| EEST-2 Version A prä T1 | -.271** | -.163** | -.193** | -.100 | -.099 |
| EEST-2 Version A post T1 | -.264** | -.159* | -.194** | -.209** | -.134* |
| EEST-2 Version B prä T2 | -.243** | -.116 | -.247** | -.057 | -.169* |

(** $p < .01$; * $p < .05$)

Es zeigten sich signifikante positive Zusammenhänge³ zwischen Strategiewissen und Chemienote sowie Physiknote, zumindest für Version A (siehe Tabelle 9.8). Es zeigten sich auch signifikante positive Zusammenhänge mit den anderen Fächern, vor allem mit der Mathematiknote.

Allerdings korrelieren Schulnoten auch untereinander und mit der Intelligenz positiv. Deshalb wurden zusätzlich Korrelationen zwischen Strategiewissen und Schulnoten berechnet, bei denen die Intelligenz (gemessen über eine Subskala des KFT) auspartialisiert wurde. Es zeigten sich hochsignifikante Zusammenhänge zwischen Strategiewissen und der Chemienote von $r = -.232$ (EEST-2 A prä) und $r = -.206$ (EEST-2 A post) sowie signifikante Korrelationen zwischen Strategiewissen und der Mathematiknote von $r = -.184$ (EEST-2 A prä) und $r = -.190$ (EEST-2 A post). Eine signifikante Korrelation zeigte sich außerdem zwischen Strategiewissen und der Physiknote von $r = -.164$ (EEST-2 A post) und eine hochsignifikante Korrelation zwischen Strategiewissen und der Englischnote von $r = -.224$ (EEST-2 A post). Die B-Version des Strategiewissenstests korrelierte nur mit der Chemienote signifikant ($r = -.158$).

Vergleich 8. und 9. Klassen

Dadurch, dass sich die Stichprobe aus Schülern der 8. und 9. Jahrgangsstufe zusammensetzte, ließen sich Unterschiede im Strategiewissen zwischen diesen beiden Gruppen berechnen. Die neunten Klassen haben vermutlich durch mehr naturwissenschaftliche Schulbildung ein größeres Vorwissen im Strategiewissen. Dieser vermutete Unterschied wurde allerdings bei der Prä-Messung des Strategiewissens nicht bedeutsam, allerdings bei der Post-Messung mit der B-Version ($M_9 = .783$ und $M_8 = .693$; $t(183) = -2.974$; $p < .01$).

Im inhaltlichen Vorwissen zu beiden Themen unterschieden sich die Jahrgänge nicht signifikant voneinander. Allerdings gab es einen signifikanten Unterschied zwischen den Jahrgängen im inhaltlichen Lerngewinn Physik zugunsten der 9. Jahrgangsstufe ($M_9 = .151$ und $M_8 = -.328$; $t(191) = -3.983$; $p < .001$).

9.3.6 Zusammenhang zwischen Strategienutzung und Inhaltswissen

Zur Validitätsüberprüfung der Strategienutzungsmaße wurden Korrelationen zwischen den Strategienutzungsmaßen und dem Inhaltswissen beziehungsweise inhaltlichen Lerngewinn

³ Trotz der Korrelationen mit negativem Vorzeichen handelt es sich um positive Zusammenhänge, da bei Schulnoten ein niedriger Wert eine gute Note, also hohe Schulleistung, bedeutet.

berechnet. Tabelle 9.9 zeigt diese Zusammenhänge für die Physik-Lernumgebung. Tabelle 9.10 zeigt diese Zusammenhänge für die Chemie-Lernumgebung.

Tabelle 9.9: Korrelationen zwischen Strategienutzungsmaßen und Inhaltswissen der Physik-Lernumgebung

| | WET Physik (prä) | WET Physik (post) | Residualler Lerngewinn |
|-----------------------|---------------------|----------------------|---------------------------|
| Hypothesen-Maß | -.04 | .08 | .13* |
| Schlussfolgerungs-Maß | .19** | .22** | .13* |
| IVK-Maß | .19** | .22** | .14* |

(** $p < .01$; * $p < .05$)

Tabelle 9.10: Korrelationen zwischen Strategienutzungsmaßen und Inhaltswissen der Chemie-Lernumgebung

| | WET Chemie (prä) | WET Chemie (post) | Residualler Lerngewinn |
|-----------------------|---------------------|----------------------|---------------------------|
| Hypothesen-Maß | -.113 | .025 | .076 |
| Schlussfolgerungs-Maß | -.003 | .006 | .008 |
| IVK-Maß | -.052 | -.010 | .012 |

(** $p < .01$; * $p < .05$)

Es zeigten sich nur für die Physik-Lernumgebung signifikante positive Zusammenhänge zwischen den Maßen der Strategienutzung und dem Inhaltswissen beziehungsweise dem Lerngewinn. Diese Korrelationen waren allerdings von relativ geringer Höhe.

Bei der Chemie-Lernumgebung ließen sich keine Zusammenhänge zwischen Strategienutzung und Inhaltswissen finden.

9.3.7 Zusammenhangsmuster zwischen Strategiewissen und Strategienutzung

Um die erste Forschungsfrage dieser Arbeit zu beantworten, wurden Korrelationen zwischen vorhandenem Strategiewissen und gezeigter Strategienutzung berechnet. Tabelle 9.11 zeigt für die Physik-Lernumgebung Korrelationen zwischen den Strategienutzungsmaßen und dem Strategiewissen, welches vor und nach diesem Verhalten gemessen wurde. Es zeigten sich keine und signifikante kleine bis moderate positive

Zusammenhänge zwischen dem Verhalten und dem im Anschluss gemessenen Strategiewissen. Mit der Version B zeigten sich deutlichere, aber auch keine hohen Zusammenhänge.

Tabelle 9.11: Korrelationen zwischen Strategienutzungsmaßen der Physik-Lernumgebung und dem davor und danach gemessenen Strategiewissen (EEST-2)

| | EEST-2 prä (T1) | EEST-2 post (T1) | EEST-2 B Version (T2) |
|-----------------------|-----------------|------------------|-----------------------|
| Schlussfolgerungs-Maß | .146 | .227** | .231* |
| Hypothesen-Maß | .028 | .061 | .338** |
| IVK-Maß | .168* | .169 | .342** |

(** $p < .01$; * $p < .05$)

Für die Chemie Lernumgebung wurden ebenfalls Korrelationen zwischen den dort gezeigten Strategienutzungsmaßen und dem Strategiewissen davor und danach berechnet (siehe Tabelle 9.12). Hier zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen dem Strategiewissen und der Strategienutzung.

Tabelle 9.12: Korrelationen zwischen Strategienutzungsmaßen der Chemie-Lernumgebung und dem davor und danach gemessenen Strategiewissen (EEST-2)

| | EEST-2 prä (T1) | EEST-2 post (T1) | EEST-2 B Version (T2) |
|-----------------------|-----------------|------------------|-----------------------|
| Schlussfolgerungs-Maß | -.127 | -.157 | -.114 |
| Hypothesen-Maß | .041 | .023 | -.030 |
| IVK-Maß | -.003 | .023 | -.011 |

(** $p < .01$; * $p < .05$)

Hypothese 1 spezifiziert, wie der Zusammenhang zwischen Strategiewissen und Strategienutzung aussehen sollte (vgl. 9.1). Um zu prüfen, ob die Kombination hohes Strategiewissen und geringe Strategienutzung besonders häufig vorhanden ist und dagegen die Kombination niedriges Strategiewissen und hohe Strategienutzung besonders selten, wurden für die einzelnen Korrelationen Streudiagramme erstellt. In diesen wird deskriptiv veranschaulicht, wie sich die Schüler auf die Ausprägungskombinationen verteilen.

Es folgen die Streudiagramme für die unterschiedlichen Strategienutzungsmaße zunächst für die Physik-Lernumgebung (Abb. 9.1, 9.2 und 9.3). Dabei ist auf der X-Achse jeweils das Strategiewissen abgetragen (die unterschiedlichen Testheftversionen sind dabei durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet), auf der Y-Achse ist jeweils eines der drei Strategienutzungsmaße abgetragen.

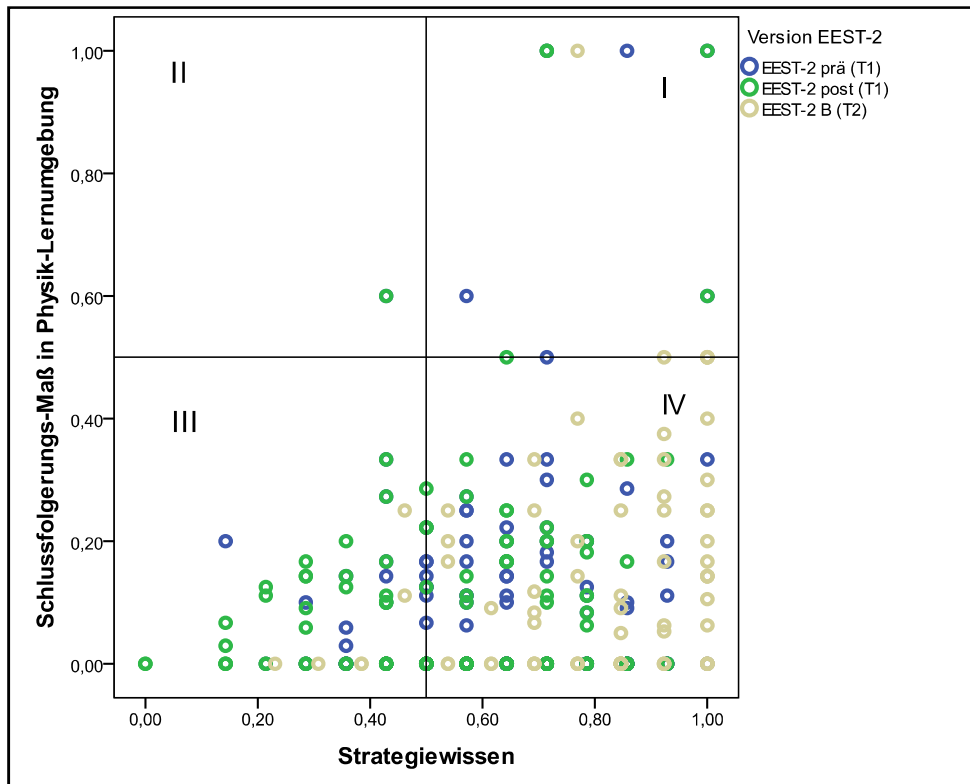


Abbildung 9.1: Streudiagramm zum Zusammenhang von Strategiewissen und Schlussfolgerungs-Maß (Physik)

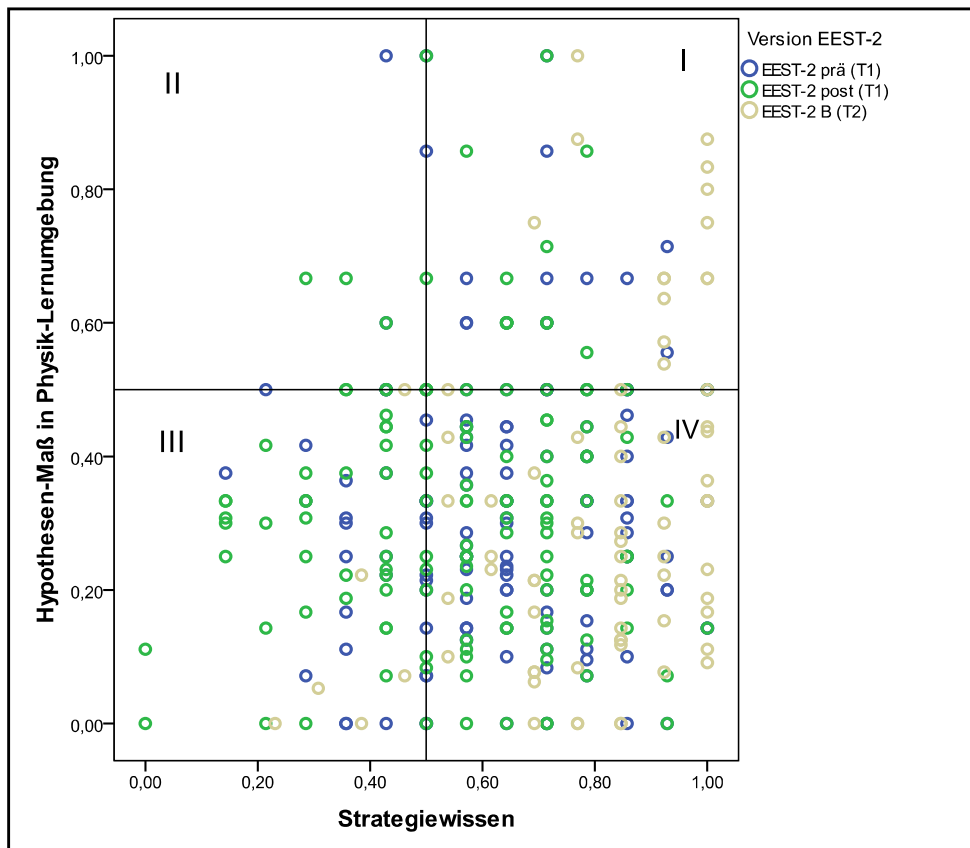


Abbildung 9.2: Streudiagramm zum Zusammenhang von Strategiewissen und Hypothesen-Maß (Physik)

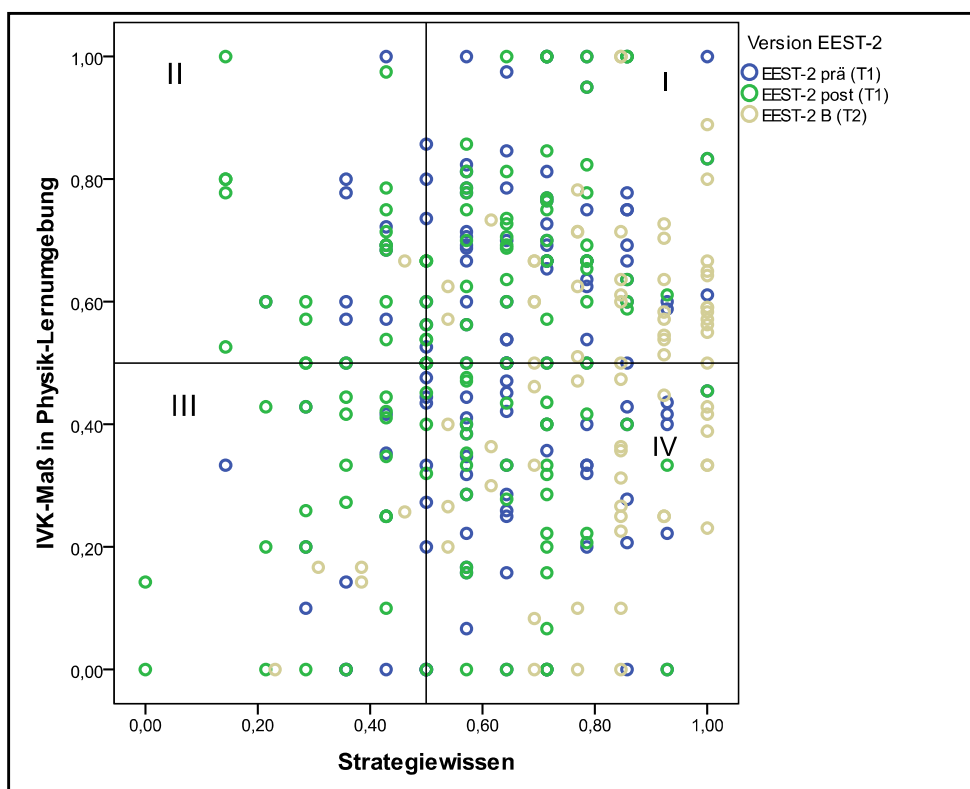


Abbildung 9.3: Streudiagramm zum Zusammenhang von Strategiewissen und IVK-Maß (Physik)

Die nächsten drei Streudiagramme gehören zu den Strategienutzungsmaßen in der Chemie-Lernumgebung (Abb. 9.4, 9.5 und 9.6). Auch hier ist auf der X-Achse das Strategiewissen (die Testheftversionen sind in verschiedenen Farben repräsentiert) abgetragen und auf der Y-Achse das jeweilige Strategienutzungsmaß.

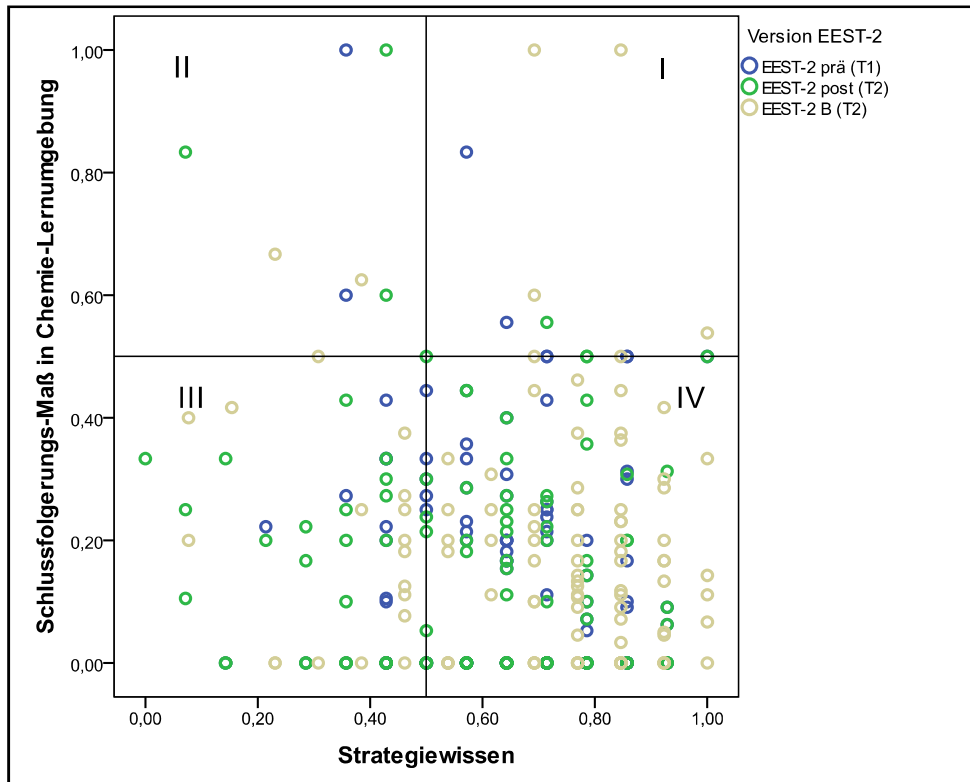


Abbildung 9.4: Streudiagramm zum Zusammenhang von Strategiewissen und Schlussfolgerungs-Maß (Chemie)

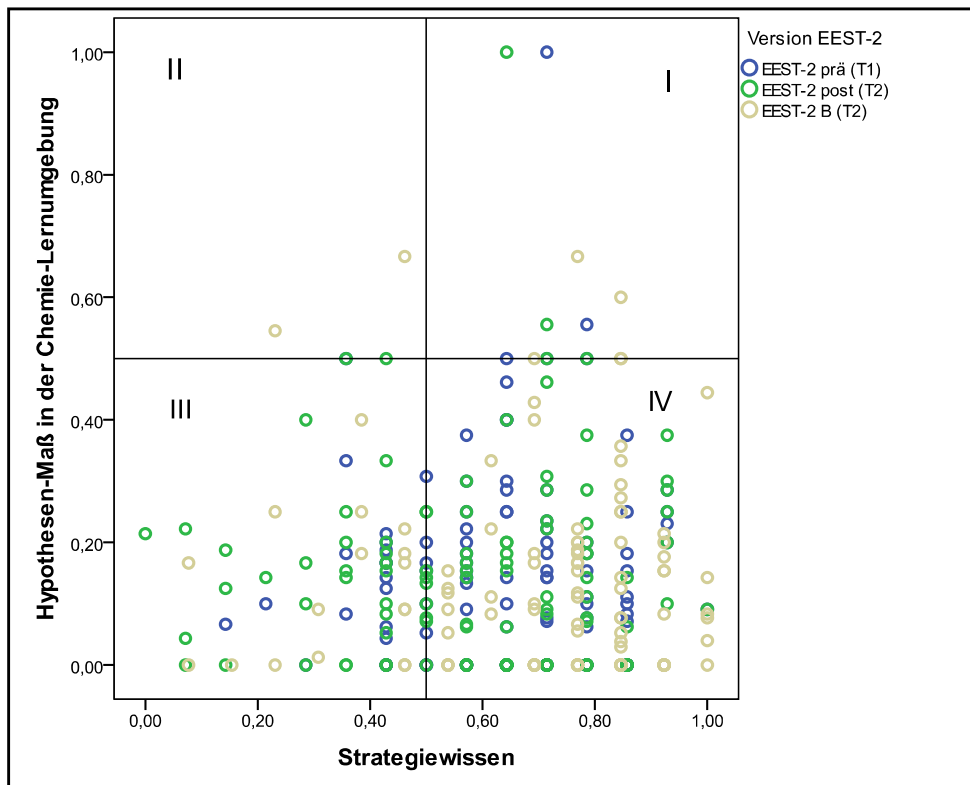


Abbildung 9.5: Streudiagramm zum Zusammenhang von Strategiewissen und Hypothesen-Maß (Chemie)

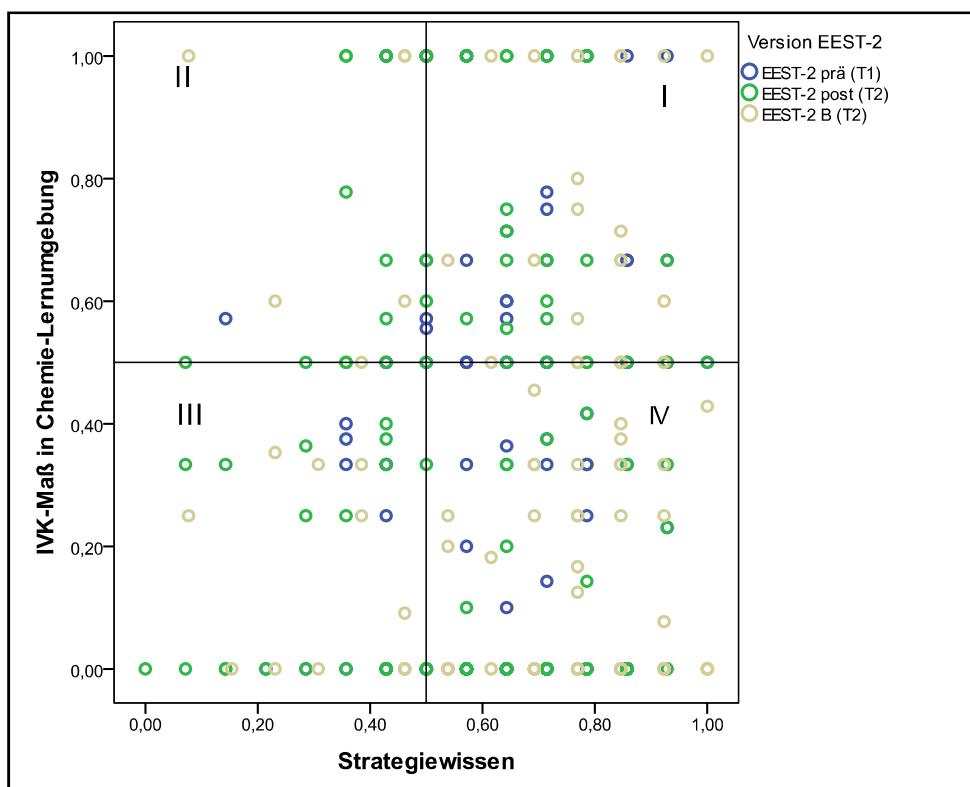


Abbildung 9.6: Streudiagramm zum Zusammenhang von Strategiewissen und IVK-Maß (Chemie)

Die Mehrheit der Personen sollte im vierten Quadranten liegen und kaum Personen im zweiten Quadranten. Da in den Abbildungen die Anzahl der Personen nicht gut zu erkennen ist, zumindest wenn mehrere Personen auf demselben Punkt liegen, geben die folgenden Tabellen die absoluten Häufigkeiten der Punkte in den Quadranten der einzelnen Streudiagramme wieder.

Tabelle 9.13: Absolute Häufigkeiten in den Quadranten der Streudiagramme für die Strategienutzungsmaße der Physik-Lernumgebung

| | Schlussfolgerungs-Maß | Hypothesen-Maß | IVK-Maß |
|---|-----------------------|----------------|------------|
| Anzahl in Quadrant 1 (<i>Wissen hoch und Nutzung hoch</i>) | 10 | 38 | 132 |
| Anzahl in Quadrant 2 (<i>Wissen niedrig und Nutzung hoch</i>) | 2 | 5 | 28 |
| Anzahl in Quadrant 3 (<i>Wissen niedrig und Nutzung niedrig</i>) | 67 | 55 | 37 |
| Anzahl in Quadrant 4 (<i>Wissen hoch und Nutzung niedrig</i>) | 233 | 191 | 103 |

Für die Strategienutzungsmaße der Physik-Lernumgebung enthält Tabelle 9.13 die absoluten Häufigkeiten der Punkte in den Quadranten. Tabelle 9.14 bezieht sich auf die Strategienutzungsmaße in der Chemie-Lernumgebung. Die Anzahlen in Quadrant zwei und vier sind dabei fett hervorgehoben.

Tabelle 9.14: Absolute Häufigkeiten in den Quadranten der Streudiagramme für die Strategienutzungsmaße der Chemie-Lernumgebung

| | Schlussfolgerungs-Maß | Hypothesen-Maß | IVK-Maß |
|---|-----------------------|----------------|------------|
| Anzahl in Quadrant 1 (<i>Wissen hoch und Nutzung hoch</i>) | 7 | 6 | 62 |
| Anzahl in Quadrant 2 (<i>Wissen niedrig und Nutzung hoch</i>) | 6 | 2 | 16 |
| Anzahl in Quadrant 3 (<i>Wissen niedrig und Nutzung niedrig</i>) | 64 | 67 | 48 |
| Anzahl in Quadrant 4 (<i>Wissen hoch und Nutzung niedrig</i>) | 246 | 249 | 173 |

Es handelt sich bei dieser Analyse nur um eine deskriptive Beschreibung des Zusammenhangs, da es noch kein interferenzstatistisches Maß dafür gibt, diese Form von Zusammenhängen (Eckenkorrelationen) zu prüfen. Deskriptiv lässt sich das vermutete Zusammenhangsmuster bei der Physik-Lernumgebung zumindest für das Schlussfolgerungs- und das Hypothesen-Maß finden. Auch beim IVK-Maß liegen deutlich mehr Personen in Quadrant vier als in Quadrant 2, allerdings liegen die meisten im ersten Quadrant und weisen somit eine hohes Strategiewissen und eine hohe Nutzung dieser Strategie auf. Für die Chemie-Lernumgebung zeigte sich ebenfalls das vermutete Zusammenhangsmuster für das Schlussfolgerungs- und das Hypothesen-Maß, weniger deutlich aber tendenziell auch für das IVK-Maß.

9.4 Diskussion

Zu den eingesetzten Instrumenten

Die deskriptiven Statistiken der eingesetzten Messinstrumente haben gezeigt, dass der Wissenserwerbstest zu „Säuren und Basen“ (WET Chemie) eine geringe Lösungswahrscheinlichkeit aufwies. Für den Prätest ist dieses nicht verwunderlich, da die Schüler ja kein schulisches Vorwissen zu diesem Bereich hatten. Allerdings war auch der

Mittelwert für den Posttest noch sehr gering. Das weist darauf hin, dass der WET Chemie möglicherweise zu schwierig ist. Bei genauerer Betrachtung der Items fällt auf, dass speziell leichtere Relationen im Test nicht genug berücksichtigt werden. Als Konsequenz hieraus wurde für die nächste Studie der WET Chemie noch einmal überarbeitet, so dass nun auch einfachere Items zu den einfacher explorierbaren Relationen vertreten sind.

Das Arbeiten mit den Lernumgebungen führte bei beiden Inhaltsbereichen zu einem signifikanten Lernzuwachs. Zu beachten ist, dass in dieser Studie ganz ohne Unterstützung gelernt wurde, insofern verwundert es nicht, dass der Lerngewinn eher moderat ist. Es ist daher durchaus zu vermuten, dass bei geeigneter Unterstützung eine weitere Steigerung des inhaltlichen Wissens zum Post-Zeitpunkt möglich ist.

Diese Studie lieferte weitere Daten, die zur Evaluation des EEST-2 genutzt werden können. Zumindest für den Posttest zeigte sich eine zufriedenstellende Reliabilität. Die aktuelle Motivation der Schüler sank zu jedem Messzeitpunkt, während der positive Zusammenhang zwischen Motivation und Strategiewissen zu jedem Messzeitpunkt stieg. Um dem entgegenzuwirken, wurde ab der vierten untersuchten Klasse eine andere Version des EEST-2 am zweiten Testtag eingesetzt. Diese Version B zeigte eine bessere Reliabilität. Auch zeigten sich mittlere positive Korrelationen mit dem Inhaltswissen Physik, allerdings keine mit dem Inhaltswissen Chemie. Da Version B nur zum zweiten Testtag eingesetzt wurde, hatten zu diesem Zeitpunkt alle Schüler bereits mit der anderen Lernumgebung gearbeitet und ihr Strategiewissen ist dadurch und durch die Tests am ersten Testtag vermutlich bereits stärker aktiviert gewesen. Version A hingegen zeigte Zusammenhänge mit dem Inhaltswissen und Lerngewinn für beide Inhaltsbereiche, auch bei Ausparialisierung der Intelligenz. Weitere Validitätshinweise lieferten auch hier positive Korrelationen zwischen dem Strategiewissen und den Schulnoten, vor allem im Fach Chemie. Allerdings fand sich auch ein nicht hypothesenkonformer, nicht erklärbarer positiver Zusammenhang mit der Englischnote. Dieser hatte sich in der Pilotstudie nicht gezeigt.

Dadurch, dass Version B nicht zu allen Messzeitpunkten eingesetzt wurde, konnte nicht geprüft werden, ob es sich um eine echte Parallelversion handelt. Aus diesem Grund und wegen der fehlenden Korrelationen zum Inhaltswissen Chemie wird in der folgenden Studie doch nur die Version A des EEST-2 eingesetzt werden.

Zur Forschungsfrage

Zur Forschungsfrage dieser Studie, nämlich ob sich mit den weiterentwickelten Instrumenten empirische Hinweise finden lassen, die für ein Produktionsdefizit sprechen, wurde eine Hypothese gebildet. Diese beschreibt folgendes Zusammenhangsmuster zwischen Strategiewissen und Strategienutzung: die meisten Schüler weisen ein hohes Strategiewissen in Kombination mit einer geringen Strategienutzung auf, aber kaum Schüler ein geringes Strategiewissen kombiniert mit einer hohen Strategienutzung.

Problematisch ist sicherlich, dass zu dem selbstentwickelten Strategiewissenstest und zu den Strategienutzungsmaßen keine Normierung stattgefunden hat, die Werte also nicht im Sinne von Normwerten behandelt werden können. Dennoch ist durchaus anzunehmen, dass bei den getesteten Schülern Wissen zu den Strategien vorhanden sein muss, da die Mittelwerte im Strategiewissenstest signifikant über der Ratewahrscheinlichkeit lagen.

Um den Zusammenhang zwischen Strategiewissen und Strategienutzung zu analysieren, wurden Korrelationen berechnet. Da diese aber nur über lineare Zusammenhänge Auskunft geben und nicht das vermutete Zusammenhangsmuster prüfen, wurde auf deskriptive Datenanalysen zurückgegriffen. Die Streudiagramme der Zusammenhänge zwischen Strategiewissen und Strategienutzung wurden danach ausgewertet, ob die Mehrheit der Personen im Quadranten liegt, der hohes Wissen und niedrige Nutzung repräsentiert, und möglichst keine Personen im Quadranten, der niedriges Wissen und hohe Nutzung repräsentiert. Zumindest für das Schlussfolgerungs-Maß und das Hypothesen-Maß war dieses in beiden Inhaltsbereichen deutlich zu erkennen. Weniger deutlich erkennbar war es für das IVK-Maß. In diesem Maß waren allerdings auch die Mittelwerte höher als in den anderen Strategienutzungsmaßen. Es gibt also zumindest für die Maße, die mehrere Schritte des Experimentierzyklus umfassen, empirische Hinweise, die sich im Sinne eines Produktionsdefizits interpretieren lassen. Es ist dabei zu beachten, dass es sich um rein deskriptive Analysen handelt. Es fehlt allerdings bisher ein interferenzstatistisches Maß bzw. Kriterium zur Prüfung dieser Art von nicht linearem Zusammenhang. Zudem hängt die vorgenommene Analyse von der Einteilung der Quadranten ab (also von der Festlegung hoher und niedriger Strategienutzung und Strategiewissen).

Neben der fehlenden Normierung der Maße ist an diese Stelle auch die Validität der Maße für Strategiewissen und Strategienutzung kritisch zu diskutieren. Zumindest für den EEST-2 zeigten diese Studie und die Studien in Kapitel 8.2 einige Ergebnisse, die für die Validität dieses Strategiewissenstests sprechen. Die Hinweise auf die Validität der Strategienutzungsmaße für die beiden Lernumgebungen fallen dagegen nicht so deutlich

aus. Für die Physik-Lernumgebung zeigten sich signifikante Zusammenhänge zwischen dem Inhaltswissen beziehungsweise Lerngewinn und den Strategienutzungsmaßen, wenn auch eher geringe. Diese geringen Korrelationen zwischen der Strategienutzung in der Physik-Umgebung und dem Inhaltswissen lassen sich aber auch durch die eher geringe Strategienutzung insgesamt erklären. Für die Chemie-Lernumgebung zeigten sich keine Zusammenhänge zwischen Strategienutzungsmaßen und Inhaltswissen. Zum einen sind hier allerdings die geringe Lösungswahrscheinlichkeit und Varianz des WET Chemie und der Strategienutzungsmaße Chemie zu beachten. Zum anderen scheinen in der Chemie-Lernumgebung noch andere Verhaltensweisen strategisch sinnvoll und lernförderlich zu sein, die die Strategienutzungsmaße nicht erfassen. Zur Validität der Strategienutzungsmaße siehe auch Gößling (2010).

Als Konsequenz für die nächste Studie wird zwar nicht auf die Chemie-Lernumgebung und ihre Strategienutzungsmaße verzichtet, allerdings wird bei der Intervention auf die Physik-Lernumgebung fokussiert; das heißt die Unterstützungsmaßnahmen, die das Produktionsdefizit beheben sollen, werden in die Physik-Lernumgebung implementiert. Dennoch wird die Chemie-Lernumgebung zur Transfer-Messung eingesetzt, allerdings unter Vorbehalt einer möglicherweise eingeschränkten beziehungsweise fraglichen Validität der dort erfassten Strategienutzungsmaße.

Als weitere Konsequenz sollte die Unterstützung zum Beheben des Produktionsdefizits vor allem darauf abzielen, dass zu validen Experimenten Hypothesen aufgestellt werden und Schlussfolgerungen aus ihnen gezogen werden. Denn das Produktionsdefizit scheint nach dieser Studie vor allem bei diesen beiden Strategien vorzuliegen.

10. Experimentelle Studie zur Förderung des SRL durch Experimentieren anhand von adaptiver Unterstützung

Die im letzten Kapitel beschriebene Korrelationsstudie lieferte Ergebnisse, die auf ein vorliegendes Produktionsdefizit in Bezug auf die Nutzung von Experimentierstrategien bei Schülern der 8. und 9. Klasse des Gymnasiums schließen lassen. Die Strategienutzung ließ sich in dieser Studie allgemein als niedrig beschreiben, zudem zeigte sich nach dem SRL durch Experimentieren im Mittel zwar ein Lernzuwachs, allerdings war dieser nicht sehr groß. Es ist also angebracht, diese Lernform angemessen zu unterstützen, mit der Absicht die Strategienutzung und darüber auch den Lernzuwachs zu steigern. Dieses Ziel verfolgt die in diesem Kapitel dargestellte Studie. Dabei werden die zweite und dritte Forschungsfrage dieser Arbeit (vgl. Kapitel 6) bearbeitet. Diese werden zunächst unter 10.1 noch einmal zusammen mit den Hypothesen wiederholt, bevor dann unter 10.2 ausführlich die Methode der Studie beschrieben wird. Es folgt die Darstellung der gefundenen Ergebnisse unter 10.3, die dann im Anschluss bezüglich der Hypothesen diskutiert werden (siehe 10.4).

10.1 Fragestellung und Hypothesen

Im Theorieteil dieser Arbeit wurde herausgearbeitet, wie geeignete Unterstützungsmaßnahmen aussehen könnten, um ein Produktionsdefizit zu beheben. Entsprechend werden in dieser experimentellen Studie während des Lernens adaptive Unterstützungsmaßnahmen, in Form von adaptiven Prompts und adaptivem strategiebezogenem Feedback, eingesetzt.

Dabei soll die zweite Forschungsfrage dieser Arbeit beantwortet werden. Sie lautet:

Sind adaptive Unterstützungsmaßnahmen, also an das individuell gezeigte strategische Verhalten angepasste Unterstützungsmaßnahmen, für das SRL durch Experimentieren lernförderlicher als nicht adaptive Unterstützungsmaßnahmen?

Um diese Frage zu beantworten, werden in dieser Studie unterschiedliche Unterstützungsmaßnahmen miteinander verglichen, nämlich adaptive Unterstützung und nicht-adaptive Unterstützung. Die vermuteten Unterschiede lassen sich als folgende Hypothesen, die in Kapitel 6 aus dem theoretischen Teil dieser Arbeit abgeleitet wurden, formulieren:

Hypothese 2.1: Lerner, die adaptive Unterstützung erhalten, empfinden ihre Unterstützung als hilfreicher als Lerner mit nicht-adaptiver Unterstützung.

Hypothese 2.2: Lerner, die adaptive Unterstützung erhalten, zeigen eine häufigere Strategienutzung als Lerner ohne adaptive Unterstützung.

Hypothese 2.3: Lerner, die adaptive Unterstützung erhalten, zeigen im unterstützten Lernprozess keinen größeren inhaltlichen Lerngewinn als Lerner ohne adaptive Unterstützung.

Hypothese 2.4: Lerner, die adaptive Unterstützung erhalten, zeigen im Transfer a) eine häufigere Strategienutzung und b) einen größeren inhaltlichen Lerngewinn als Lerner ohne adaptive Unterstützung.

Des Weiteren dient diese Studie der Beantwortung der dritten Forschungsfrage dieser Arbeit. Sie lautet:

Ist strategiebezogenes Feedback mit adaptiven Prompts motivations- und lernförderlich und somit effektiver in der Unterstützung des SRL durch Experimentieren als Unterstützung ohne Feedback?

Um diese Frage zu beantworten, werden in dieser Studie unterschiedliche Unterstützungsmaßnahmen miteinander verglichen, nämlich strategiebezogenes Feedback mit adaptiven Prompts und Prompts (adaptive und nicht adaptive) ohne Feedback. Die adaptiven Prompts beim Feedback entsprechen den adaptiven Prompts ohne Feedback, so dass hier nur das Geben einer Rückmeldung variiert wird. Auch zur dritten Forschungsfrage lassen sich einzelne Hypothesen formulieren, die sich aus dem theoretischen Teil dieser Arbeit begründen lassen (vgl. Kapitel 6). Sie lauten:

Hypothese 3.1: Lerner, die strategiebezogenes Feedback mit adaptiven Prompts erhalten, sind stärker motiviert als Lerner ohne Feedback.

Hypothese 3.2: Lerner, die strategiebezogenes Feedback mit adaptiven Prompts erhalten, zeigen eine häufigere Strategienutzung als Lerner ohne Feedback.

Hypothese 3.3: Lerner, die strategiebezogenes Feedback mit adaptiven Prompts erhalten, zeigen im unterstützten Lernprozess keinen größeren inhaltlichen Lerngewinn als Lerner ohne Feedback.

Hypothese 3.4: Lerner, die strategiebezogenes Feedback mit adaptiven Prompts erhalten, zeigen im Transfer a) eine häufigere Strategienutzung und b) einen größeren inhaltlichen Lerngewinn als Lerner ohne Feedback.

10.2 Methode

In diesem Unterkapitel wird zunächst das Design der durchgeführten Studie erläutert, gefolgt von der Beschreibung des Algorithmus, der als Grundlage für die adaptive Unterstützung dient. Danach werden das in dieser Studie verwendete Material und die eingesetzten Instrumente beschrieben. Die untersuchte Stichprobe wird anschließend dargestellt. Am Ende des Unterkapitels folgt dann die Beschreibung der Durchführung dieser empirischen Studie.

10.2.1 Design

Um die unter 10.1 dargestellten Fragestellungen und Hypothesen beantworten zu können, wurde für die Studie ein experimentelles 4-Gruppen-Design gewählt. Dabei wurden drei Experimentalgruppen, die während des Lernens eine bestimmte Form von Unterstützung erhielten, und eine Kontrollgruppe, die ohne Unterstützung lernte, realisiert. Die Probanden wurden diesen Gruppen zufällig zugeteilt.

Alle Experimentalgruppen bekamen zur gleichen Zeit, in Abständen von vier Minuten, die gleiche Anzahl an Unterstützungsbotschaften (vier in jeder Gruppe), allerdings mit unterschiedlichen Inhalten (vgl. Abb. 10.1).

| | EG 1 | EG 2 | EG 3 | KG |
|------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------------------|------------------------|
| <i>nach 4 min</i> | nicht-adaptiver Prompt 1 | adaptiver Prompt* | adaptives Feedback (inkl. Prompt)* | keine Unterstützung |
| <i>nach 8 min</i> | nicht-adaptiver Prompt 2 | adaptiver Prompt* | adaptives Feedback (inkl. Prompt)* | keine Unterstützung |
| <i>nach 12 min</i> | nicht-adaptiver Prompt 3 | adaptiver Prompt* | adaptives Feedback (inkl. Prompt)* | keine Unterstützung |
| <i>nach 16 min</i> | nicht-adaptiver Prompt 4 | adaptiver Prompt* | adaptives Feedback (inkl. Prompt)* | keine Unterstützung |

Abbildung 10.1: Design der experimentellen Studie

(*bezogen auf die gezeigte Strategienutzung in den letzten 4 Minuten vor der jeweiligen Unterstützung)

Alle Unterstützungsformen wurden in die Physik-Lernumgebung, die unter Kapitel 7.1 beschrieben ist, implementiert (siehe auch 10.2.2).

Die erste Experimentalgruppe (EG1) wurde während des SRL mit nicht-adaptiven Prompts unterstützt. Hierbei waren die Botschaften vorher festgelegt, sie waren für jeden Lerner gleich in Wortlaut und Reihenfolge. Dabei handelte es sich um Hinweise zum guten strategischen Verhalten beim Experimentieren. Sie lauteten:

1. Überlege dir eine Beziehung zwischen Begriffen, die du auf dem Notizblock einzeichnen und in Experimenten überprüfen kannst.
2. Versuche zu deinen Ideen strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei nachfolgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.
3. Überlege dir, was du als passende Schlussfolgerung aus Experimenten oder als neue Idee für Experimente auf dem Notizblock festhalten kannst.
4. Versuche bei deinen nächsten Experimenten strategisch vorzugehen und einzuzeichnen, was du durch die Experimente überprüfen willst und was du dadurch herausgefunden hast.

Die zweite Experimentalgruppe (EG2) wurde mit adaptiven Prompts unterstützt. Hierbei wurden die Hinweise entsprechend des in den vier Minuten zuvor gezeigten strategischen Verhaltens gegeben. Basierend auf der Erfassung der Strategienutzung über logfiles wurde dafür ein Algorithmus entwickelt, der festlegt, wann welcher Prompt gegeben wird.

Die dritte Experimentalgruppe (EG3) wurde mit adaptivem strategiebezogenem Feedback unterstützt. Dieses Feedback basierte auf dem gleichen, nachfolgend beschriebenen Algorithmus wie die adaptiven Prompts der EG2. Neben einer individuellen Rückmeldung zum gezeigten strategischen Verhalten der letzten vier Minuten, enthielten die Feedback-Botschaften als Hinweise die gleichen adaptiven Prompts wie in EG2, da elaboriertes Feedback besonders förderlich ist (vgl. Kapitel 5.4).

10.2.2 Beschreibung des Algorithmus für die adaptive Unterstützung

Die Unterstützung zielt auf den in Kapitel 3 beschriebenen Experimentierzcyklus ab, also auf den Dreischritt bestehend aus den Strategien (1) prüfbare Hypothesen aufstellen, (2) diese in systematischen Experimenten überprüfen und (3) Schlussfolgerungen daraus festhalten. Dieser Dreischritt lässt sich nach dem SDDS-Modell auch als Interaktion zwischen Hypothesen- und Experimenterraum beschreiben (vgl. Kapitel 3). Die dem

Algorithmus zugrunde liegende Analyse der logfiles bezieht sich deshalb zunächst darauf, ob eine solche Interaktion überhaupt gezeigt wurde, und ob sie in einem geringen oder hohen Ausmaß gezeigt wurde. Ursache für eine geringe oder fehlende Interaktion kann eine geringe oder fehlende Nutzung des Hypothesenraums, eine geringe oder fehlende Nutzung des Experimenterraums, eine geringe oder fehlende Nutzung beider Räume oder eine mangelnde oder fehlende Verknüpfung beider Räume sein. Je nach Ursache sind unterschiedliche Prompts als Unterstützung angebracht. Deshalb zielte die Analyse der logfiles im Weiteren auf das Ausmaß der Nutzung des Hypothesenraums und der Nutzung des Experimenterraums ab.

In dem Algorithmus für die adaptive Unterstützung wurden folglich drei Variablen berücksichtigt: 1. Anzahl der eingezeichneten Relationen, die mit einem zugehörigen IVK-Experiment verbunden wurden (Interaktion zwischen den Räumen); 2. Anzahl der eingezeichneten Notizen, also alle eingezeichneten Relationen auch ohne zugehöriges IVK-Experiment (Nutzung des Hypothesenraums); 3. Anzahl aller durchgeführten IVK-Experimente (Nutzung des Experimenterraums). Für die Entwicklung der adaptiven Unterstützung wurden die Werte dieser Variablen in geringe und hohe Werte eingeteilt und diese dann untereinander kombiniert. Die Kriterien für die Einteilung in geringe und hohe Werte wurden danach bestimmt, wie häufig die Strategien spontan - also ohne Unterstützung - gezeigt wurden. Hierzu dienten die Daten der vorherigen Studie (siehe Kapitel 9). Das Kriterium für Variable 1 und 2 lag bei zwei, das bedeutet alle Werte größer oder gleich zwei wurden als hoch gewertet. Das Kriterium für die Variable 3 lag bei drei, das heißt alle Werte größer oder gleich drei wurden als hoch gewertet.

Da es darum geht, das Aufstellen von Hypothesen und Schlussfolgerungen zu validen Experimenten zu fördern, wird zum ersten Zeitpunkt für Variable 1 (die Interaktion zwischen Hypothesen-Raum und Experimente-Raum) geprüft, ob sie gleich null, gering oder hoch ist (3 Ausprägungen). Bei den weiteren Zeitpunkten werden die Werte der Variable 1 nach individueller Bezugsnorm in 5 Ausprägungen eingeteilt: 1. noch null, d.h. der Wert war vorher null und ist es immer noch; 2. gleich gering, d.h. der Wert war vorher gering und ist so geblieben; 3. gleich hoch, d.h. der Wert war vorher hoch und ist so geblieben; 4. geringer, d.h. der Wert ist im Vergleich zu dem vorherigen Wert geringer geworden; 5. größer, d.h. der Wert ist im Vergleich zu dem vorherigen Wert größer geworden. Variable 2 und 3 geben Auskunft darüber, woran es liegt, dass die Interaktion fehlt oder gering ist. Sie zeigen auf „welcher Raum zu gering genutzt wird“ und somit was

gefördert werden muss. Für diese Variablen reichen zwei Ausprägungen (gering oder hoch).

Aus der Kombination der drei Variablen mit ihren jeweiligen Ausprägungen ergaben sich für den ersten adaptiven Prompt bzw. die erste adaptive Feedback-Botschaft 12 verschiedene Möglichkeiten. Für die zweite, dritte und vierte Unterstützungsbotschaft ergaben sich je 20 verschiedene Möglichkeiten. Insgesamt ergeben sich so 72 mögliche Kombinationen. Da sich die jeweils 20 Kombinationen zu Zeitpunkt drei und Zeitpunkt vier sprachlich nicht unterscheiden, liegen insgesamt 52 adaptive Unterstützungsbotschaften vor. Diese adaptiven Prompts und Feedback-Botschaften sind im Anhang D nachzulesen.

Der Inhalt der jeweiligen Unterstützung fokussierte dabei auf diejenige Strategie, die bisher zu wenig gezeigt wurde. Es wurde den Schülern geraten, diese beim nächsten Mal stärker umzusetzen. Wenn beispielsweise die Auswertung der Variablen zeigt, dass noch keine eingezeichneten Relationen mit IVK-Experimenten verbunden wurden, wobei schon viele Relationen eingezeichnet wurden, aber wenig IVK-Experimente durchgeführt worden sind, dann zielt die Unterstützung in diesem Fall darauf ab, IVK-Experimente zu den Ideen durchzuführen. Das entspricht der Kombination aus Variable 1 gleich null, Variable 2 gleich hoch und Variable 3 gleich gering. Zum ersten Zeitpunkt lautete der adaptive Prompt zu dieser Kombination deshalb: „Versuche zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“ Das adaptive Feedback zu dieser Kombination lautet zum ersten Zeitpunkt entsprechend: „Du hast bisher schon viele Ideen auf dem Notizblock eingezeichnet, aber diese nicht in strategisch guten Experimenten überprüft. Mein Tipp: Versuche zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“ Dieser Tipp stimmt mit dem adaptivem Prompt überein. Die beiden Unterstützungsmaßnahmen unterscheiden sich nur darin, dass das Feedback zusätzlich die strategiebezogene Rückmeldung (siehe erster Teil der Botschaft) enthält.

10.2.3 Material und Instrumente

Computerbasierte Lernumgebungen

Eingesetzt wurden die zwei entwickelten computerbasierten Lernumgebungen mit dem physikalischen Inhalt „Auftrieb in Flüssigkeiten“ und mit dem chemischen Inhalt „Säuren und Basen“. Mit diesen Lernumgebungen können Schüler selbstreguliert die Beziehungen, die zwischen den Variablen zu diesen Inhaltsbereichen bestehen, erlernen. Eine ausführliche Beschreibung dieser Lernumgebungen findet sich in Kapitel 7.

In die bestehende Lernumgebung zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ wurden nun Unterstützungsmaßnahmen implementiert. Dabei handelt es sich um drei unterschiedliche Unterstützungen (beschrieben unter 10.2.1). Alle drei bestehen aus Textbotschaften, die dem Lerner in sogenannten Pop-up-Fenstern eingeblendet werden. Durch einen Mausklick auf ‚Schließen‘ können diese Pop-up-Fenster wieder geschlossen werden. Insgesamt wurden jedem Lerner während der Explorationsphase in der Lernumgebung vier Textbotschaften gegeben. Die Textbotschaften folgten in Abständen von vier Minuten aufeinander, wobei die nächsten vier Minuten erst nach Schließen des vorherigen Fensters starteten.

Logfile-basierte Verhaltensmaße zur Strategienutzung

Der Einsatz der computerbasierten Lernumgebungen ermöglichte die Entwicklung und die Erfassung verhaltensbasierter Strategienutzungsmaße. Die eingesetzten Strategienutzungsmaße sind unter Kapitel 8.1 beschrieben. In dieser Studie wurden wie in Kapitel 9 folgende Maße eingesetzt: Hypothesen-Maß, IVK-Maß und Schlussfolgerungs-Maß. Diese Maße sind relationale Maße, d.h. sie geben den Anteil strategischer Aktionen an allen Aktionen einer Aktionsart an.

Übungseinheit „Wie kann ich aus Experimenten lernen“

Es zeigte sich für den Durchschnitt der Schüler zwar ein Produktionsdefizit (vgl. Kapitel 9), bei einzelnen Schülern kann dennoch ein Verfügbarkeitsdefizit vorhanden sein. Auch diese Schüler sollten auf einem Grundlevel an Strategiewissen aufbauen können und so die Möglichkeit haben, von den Unterstützungen profitieren zu können. Um alle Lerner auf ein gleiches Grundniveau zu bringen, wurde eine kurze Übungseinheit zum Thema „Wie kann ich aus Experimenten lernen“ (siehe Anhang E) entwickelt. Diese Übungseinheit besteht aus einem zweiseitigen Arbeitsblatt, das zusammengefasst die wichtigsten Informationen

darüber enthält, wie man aus Experimenten lernen kann. Eingegangen wird auf den Experimentierzyklus aus dem Dreischritt, (1) Hypothese aufstellen, (2) diese in einem IVK-Experiment testen und (3) eine Schlussfolgerung daraus festhalten. Dieses Vorgehen wird dann an einem einfachen alltagsbezogenen Beispiel beschrieben. Ein zweites Beispiel wird dann von den Schülern im Plenum mit dem Testleiter bearbeitet.

Wissenserwerbstest zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ (WET Physik)

Um das Inhaltswissen und somit den inhaltlichen Lerngewinn messen zu können, wurden auch in dieser Studie inhaltsvalide Wissenstests eingesetzt. Zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ wurde der WET Physik aus der vorherigen Studie eingesetzt (siehe Anhang B). Es wurden dieselben Prä- und Posttestversionen verwendet, die ausführlich unter Abschnitt 9.2.1 beschrieben sind. Die Darbietungsform und Auswertung der Tests sind ebenfalls bereits unter 9.2.1 aufgeführt.

Wissenserwerbstest zu „Säuren und Basen“ (WET Chemie)

Zum Thema „Säuren und Basen“ wurde ebenfalls ein inhaltsvalider Wissenstest eingesetzt, der WET Chemie. Im Vergleich zu dem unter Abschnitt 9.2.1 beschriebenen Test wurden einige Items überarbeitet oder ausgetauscht, um den Test zu vereinfachen. Ansonsten blieben der Aufbau des Tests und die Anzahl der Items wie unter 9.2.1 beschrieben. Es wurden entsprechend wieder die Prä- und Posttestversionen verwendet. Beide Versionen dieses überarbeiteten WET Chemie befinden sich im Anhang F. Die Darbietungsform und Auswertung der Tests sind so geblieben wie unter 9.2.1 aufgeführt.

Strategiewissenstest zum Experimentieren (EEST-2)

Es wurde in dieser Studie auf die unter 9.2.1 beschriebene Version A des EEST-2 zurückgegriffen (siehe Anhang G). Allerdings wurden für die Berechnung des Gesamtscores nur die Aufgabenstämme (3, 5, 6) zugrunde gelegt, die inhaltlich besonders zu den eingesetzten Unterstützungsmaßnahmen passen; somit bestand der Test nur aus neun Items. Es fielen die Aufgaben heraus, die sich inhaltlich auf Aspekte der Qualität von Hypothesen und Schlussfolgerungen bezogen, die in der Lernumgebung nicht variierbar und somit lernbar waren und auf die deshalb in den Unterstützungsmaßnahmen kein Bezug genommen wurde. Die Darbietung des Tests am PC und die Berechnung des Gesamtscores erfolgten wie unter 9.2.1 dargestellt. Dieser Test wurde in der gleichen Version insgesamt

dreimal erfasst, dabei wurde nur die Reihenfolge der Items bei jedem Mal variiert, um Gewöhnungseffekte zu vermeiden.

Fragebogen zu Interesse, Demografie und Schulnoten

Der unter 9.2.1 beschriebene Interessefragebogen zu den Fächern Chemie und Physik wurde ebenfalls als Kontrollvariable in dieser Studie eingesetzt.

Außerdem wurden auch hier demografische Daten von den Schülern erfragt, wie Alter, Geschlecht, Muttersprache und die Schulnoten der Fächer Physik, Chemie, Mathe, Deutsch und Englisch.

Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM)

Um die aktuelle Motivation vor und nach dem computerbasierten Experimentieren zu erfassen, wurden die unter 9.2.1 dargestellten Unterskalen aus dem Fragebogen zur aktuellen Motivation eingesetzt und entsprechend ausgewertet.

Kognitiver Fähigkeitstest (KFT)

Die kognitiven Fähigkeiten wurden als Kontrollvariable mit der Skala „Figurale Analogien“ des Kognitiven Fähigkeitstests 4-12+ (KFT, Heller, Gaedicke & Weinläder, 1985) gemessen. Eine genauere Beschreibung findet sich unter 9.2.1.

Fragebogen zur Beurteilung der Unterstützungsmaßnahmen

Für die Schüler der Experimentalgruppen, die Unterstützung in Form eingeblendeter Textbotschaften bekamen, wurde ein Fragebogen entworfen und eingesetzt. Dieser Fragebogen diente dazu, den Umgang mit dieser Unterstützung und ihre Einschätzung durch die Probanden zu erfragen. Er besteht aus sieben Items, die auf einer 7-stufigen Likert-Skala anzukreuzen sind. Dabei bedeutet 1 = „trifft nicht zu“ und 7 = „trifft zu“. Die einzelnen Items lauten:

1. *Ich habe die eingeblendeten Informationen aufmerksam gelesen.*
2. *Die eingeblendeten Informationen waren hilfreich für mich.*
3. *Die eingeblendeten Informationen haben mir geholfen, meine Leistung einschätzen zu können.*
4. *Die eingeblendeten Informationen waren verständlich für mich.*
5. *Die eingeblendeten Informationen haben mich motiviert.*
6. *Ich konnte den Inhalt der eingeblendeten Informationen gut nachvollziehen.*

7. *Ich wurde durch die eingeblendeten Informationen gestört.*

Am Ende des Fragebogens gibt es die Möglichkeit, Anmerkungen und Kommentare aufzulisten.

Fragebogen zur Beurteilung von Unterstützungsbedarf

Für die Schüler aus der Kontrollgruppe, die keine Unterstützung erhielten, wurde ebenfalls ein Fragebogen entworfen und verwendet. Er erfragte, wie die Schüler mit der Aufgabe zurecht gekommen sind und ob sie Unterstützungsbedarf wahrgenommen haben. Dieser Fragebogen wurde in erster Linie eingesetzt, damit diese Schüler nicht einen Fragebogen weniger auszufüllen haben. Er besteht ebenfalls aus sieben Items, die auf einer 7-stufigen Likert-Skala zu beantworten sind. Diese lauten:

1. *Ich bin gut zurecht gekommen mit der Aufgabe.*
2. *Ich hätte mir mehr Hilfen gewünscht.*
3. *Ich kann meine Leistung bei der Aufgabe gut einschätzen.*
4. *Ich hätte mir eine Rückmeldung zu meiner Leistung gewünscht.*
5. *Ich habe verstanden, worum es bei der Aufgabe ging.*
6. *Ich habe Neues dazu gelernt.*
7. *Ich wusste nicht, was ich tun sollte.*

Am Ende des Fragebogens gibt es die Möglichkeit, Anmerkungen und Kommentare hinzuzufügen.

10.2.4 Stichprobe

Es wurden 108 Schüler der 9. Jahrgangsstufe von einem Düsseldorfer und einem Krefelder Gymnasium untersucht. Insgesamt handelte es sich um fünf Klassen. In jeder Klasse wurden die Schüler zufällig den vier Gruppen zugeteilt.

Aus dieser Stichprobe wurden für die Analysen vier Personen ausgeschlossen, weil sie nur am zweiten Testtag anwesend waren und somit nicht an der Intervention teilgenommen hatten. Zudem wurden fünf Personen ausgeschlossen, die in der Zeit nach der ersten, zweiten oder dritten Textbotschaft keinerlei Aktionen in der Lernumgebung vorgenommen haben (sichtbar über die Aufzeichnung der Mausklicks in den logfiles). Bei diesen Schülern kann man davon ausgehen, dass, vermutlich aufgrund fehlender Motivation, in einer Zeitspanne von mindestens vier Minuten Dauer kein Arbeiten mit der Lernumgebung stattfand. Wenn nach der Unterstützung gar kein Verhalten gezeigt wird, kann die

Unterstützung nicht an die individuell gezeigte Strategienutzung angepasst werden. Weitere sechs Personen wurden ausgeschlossen, da aufgrund der gespeicherten Lesezeiten (erfasst über die Zeit vom Erscheinen des Pop-up-Fensters bis zum Schließen dieses Fensters) erkennbar war, dass sie mehr als die Hälfte der eingeblendeten Hilfen nicht gelesen haben können. Die gespeicherten Lesezeiten können hier also als eine Art Treatmentcheck genutzt werden. Wenn sie zeigen, dass die Hilfen nicht gelesen wurden, hat die Intervention nicht stattgefunden und ihr Einfluss kann in diesen Fällen nicht untersucht werden. Die Stichprobe, die für die Berechnungen zu Grunde lag, reduzierte sich somit auf $N = 93$. Die Schüler in der Stichprobe unterschieden sich nicht von den ausgeschlossenen Schülern in den Kontrollvariablen wie Interesse ($t_{\text{Physik}}(102) = 1.437$; $p > .05$ und $t_{\text{Chemie}}(102) = 1.707$; $p > .05$), kognitive Fähigkeiten ($t(16.13) = 1.260$; $p > .05$) und Ausgangsmotivation ($t(100) = 1.674$; $p > .05$). Das Durchschnittsalter dieser Schüler betrug $M = 14.62$ Jahre ($SD = 0.62$). Es handelte sich dabei um 59 Mädchen (63.4 %) und um 33 Jungen (35.5 %) und eine weitere Person, die keine Angabe zum Geschlecht machte. Aufgrund fehlender und auszuschließender Schüler waren in den Gruppen nur annähernd gleich viele Personen. In der KG waren 27 Schüler, in der EG1 waren 25 Schüler, in EG2 waren 23 und in EG3 waren 18 Schüler.

10.2.5 Durchführung

Die Untersuchung fand im Januar und Februar 2010 statt. Sie wurde in den Räumen der Gymnasien zur normalen Schulzeit durchgeführt. Pro Klasse gab es zwei Testtage. Der erste Testtag diente der Intervention, der zweite der Transfer-Messung. Zwischen diesen beiden Testtagen lagen 3-5 Tage. Für jeden Testtag wurde eine Schuldoppelstunde benötigt (90 min.). Jede Klasse erhielt für die Teilnahme an der Studie 50 € für die Klassenkasse. Zudem erhielt die Klasse zusätzlich 50 € Belohnung, die insgesamt am besten im Wissenserwerb (Strategie- und Inhaltswissen) abschnitt.

Am ersten Testtag wurden die Schüler begrüßt und ihnen wurde grob der Ablauf der Untersuchung erklärt, ohne dass sie über die Interventionsmaßnahmen und die genaue Fragestellung der Studie informiert wurden. Hierbei wurden die Schüler auf die 50 € für die Teilnahme hingewiesen und auf die Chance weitere 50 € zu bekommen, wenn sie bei den Tests am besten abschneiden. Die Schüler starteten mit dem Fragebogen zu Demografie und Interesse, was ca. 5-10 Minuten dauerte. Danach gingen die Schüler alle gemeinsam mit dem Testleiter die Übungseinheit „Wie kann ich aus Experimenten lernen“

durch. Anschließend wurden dazu eventuell vorhandene Fragen geklärt. Je nach Anzahl der Schüleraussagen/-fragen dauerte das Durchführen der Übungseinheit zwischen 10 und 15 Minuten. Jeder Schüler für sich startete dann mit dem Arbeiten am Computer. Hier beantworteten die Schüler zunächst den auf dem Bildschirm dargebotenen Prätest WET Physik, gefolgt von dem EEST-2. Hierfür war keine Bearbeitungsdauer vorgegeben, sondern die Schüler konnten in ihrem eigenen Tempo die Fragen beantworten. Jeder Test beanspruchte im Mittel etwa 10-15 Minuten. Im Anschluss daran folgten die zwei Tutorials (ca. 20-25 min.), in denen den Schülern der Umgang mit dem Programm und die Funktionen des Programms erläutert wurden. Nach diesen Tutorials musste der Fragebogen zur aktuellen Motivation (FAM prä) beantwortet werden, was ca. 2-3 Minuten dauerte. Danach starteten 20 Minuten Lernzeit, in der die Schüler entsprechend ihrer Gruppenzugehörigkeit mit oder ohne Unterstützung die Physik-Lernumgebung bearbeiteten. Anschließend wurde erneut die aktuelle Motivation (FAM post) erfasst und dann der Posttest WET Physik und noch einmal der Strategiewissenstest (EEST-2) eingesetzt. Danach war die Arbeit am Computer beendet. Als letztes erhielten die Experimentalgruppen-Schüler den Fragebogen zur Beurteilung der Unterstützungsmaßnahmen, die Kontrollgruppen-Schüler den Fragebogen zur Beurteilung von Unterstützungsbedarf, was etwa drei Minuten Zeit beanspruchte. Am Ende wurde den Schülern gedankt und sie bekamen Süßigkeiten.

Der zweite Testtag startete damit, dass die Schüler die Subskala „Figurale Analogien“ des KFT bearbeiteten. Wie laut Manual des KFT vorgegeben, hatten die Schüler dafür acht Minuten Zeit. Danach arbeitete wieder jeder Schüler am Computer. Hier lief es ähnlich ab wie am ersten Testtag. Zunächst wurde der Prätest WET Chemie erfasst. Es folgten die Tutorials, zum Teil in verkürzter Form, weil die Schüler durch den ersten Testtag mit der generellen Handhabung des Programms vertraut sein sollten. Es folgte der FAM prä, bevor dann die 20 Minuten Lernzeit starteten. Dieses Mal diente die Bearbeitung der Chemie-Lernumgebung der Transfer-Messung und keine Gruppe erhielt Unterstützung beim Bearbeiten. Im Anschluss wurde wieder die aktuelle Motivation mit dem FAM post erfasst. Es folgte der Posttest WET Chemie und danach der EEST-2. Damit endete der zweite Testtag und die Schüler bekamen auch dieses Mal Süßigkeiten als Dank für ihre Mitarbeit.

10.3 Ergebnisse

Bevor an dieser Stelle die Ergebnisse zur Beantwortung der Forschungsfragen berichtet werden, werden zunächst deskriptive Statistiken zu den eingesetzten Instrumenten dargestellt. Es wird im Anschluss berichtet, ob das Arbeiten mit den Lernumgebungen über die Bedingungen hinweg einen inhaltlichen Lernzuwachs erbrachte. Es folgen Ergebnisse bezüglich möglicher Unterschiede in den lernrelevanten Kontrollvariablen zwischen den Gruppen, sogenannte a-priori Unterschiede. Dann werden die Unterschiede zwischen den realisierten Experimentalbedingungen für die einzelnen abhängigen Variablen, auf die sich die Hypothesen beziehen, zusammengefasst berichtet.

Die Unterschiedshypothesen wurden im Allgemeinen Linearen Modell mittels Varianzanalysen (ANOVA) beziehungsweise mittels linearen Kontrasten überprüft. Da bei ausreichend großen Stichproben ($n_i > 10$) die Varianzanalyse relativ robust gegenüber Verletzungen ihrer Voraussetzungen ist (Bortz, 2006), wurde sie zum Prüfen der Mittelwertsunterschiede für alle abhängigen Variablen verwendet.

10.3.1 Deskriptive Statistik

In Tabelle 10.1 finden sich die Mittelwerte, Standardabweichungen und Reliabilitäten, in Form von Cronbachs α , aller verwendeten Tests und Fragebogen. Mit Ausnahme des Prätests WET Chemie mit einer Schwierigkeit von $M = .185$ und des Prätests WET Physik mit $M = .312$ liegen die Schwierigkeiten in einem angemessenen Bereich. Da die untersuchten Schüler die Inhalte dieser Tests noch nicht im Unterricht behandelt haben, ist es nicht verwunderlich, dass diese Prätests zu schwierig waren. Fast alle eingesetzten Tests und Fragebogen erreichten eine sehr zufriedenstellende Reliabilität (siehe Tabelle 10.1). Nur die Reliabilitäten für den Test zum inhaltspezifischen Vorwissen zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ (Prätest WET Physik) und für den Strategiewissenstest (EEST-2) Prä- und Posttest zu T1 lagen unter dem akzeptablen Wert von Cronbachs $\alpha = .70$ (vgl. Lienert & Raatz, 1998). Wobei der Prätest WET Physik mit Cronbachs $\alpha = .631$ und der Posttest EEST-2 mit Cronbachs $\alpha = .630$ für diese Untersuchung noch akzeptabel sind, da es sich um den Vergleich von Gruppenunterschieden handelt und nicht darum geht, Individualdiagnosen zu stellen. Nicht akzeptabel ist allerdings die Reliabilität des EEST-2 Prätests von Cronbachs $\alpha = .516$. Im Weiteren wird deshalb darauf verzichtet, diese Variable in die Analysen zur Beantwortung der Hypothesen mit einzubeziehen.

Tabelle 10.1: Mittelwerte, Standardabweichungen und Reliabilitäten der verwendeten Messinstrumente

| Messinstrument | <i>N</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> | Reliabilität | Items |
|--|-----------------|-----------------|------------------|---------------------|--------------|
| WET Prä Physik | 93 | .312 | .180 | .631 | 14 |
| WET Post Physik | 90 | .385 | .224 | .762 | 14 |
| WET Prä Chemie | 82 | .185 | .181 | .742 | 14 |
| WET Post Chemie | 82 | .492 | .205 | .768 | 14 |
| EEST-2 Prä zu T1 | 93 | .697 | .197 | .516 | 9 |
| EEST-2 Post zu T1 | 85 | .673 | .225 | .630 | 9 |
| EEST-2 Post zu T2 | 82 | .659 | .254 | .718 | 9 |
| KFT Subskala | 87 | .795 | .131 | .894 | 25 |
| Fachinteresse Physik | 93 | .455 | .210 | .853 | 6 |
| Fachinteresse Chemie | 93 | .528 | .220 | .874 | 6 |
| FAM Prä zu T1 | 91 | .488 | .200 | .841 | 9 |
| FAM Post zu T1 | 91 | .394 | .233 | .882 | 9 |
| FAM Prä zu T2 | 83 | .407 | .221 | .901 | 9 |
| FAM Post zu T2 | 82 | .386 | .239 | .903 | 9 |
| Beurteilungs-Fragebogen für Experimentalgruppen | 61 | .612 | .187 | .781 | 7 |

Die Tabellen 10.2 und 10.3 zeigen die Mittelwerte und Standardabweichungen der erfassten Strategienutzungsmaße für die Physik-Lernumgebung und die Chemie-Lernumgebung.

Tabelle 10.2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Strategienutzungsmaße der Physik-Lernumgebung

| Verhaltensmaße | <i>N</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> |
|----------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| Lernumgebung Physik | | | |
| IVK-Maß | 90 | .515 | .246 |
| Hypothesen-Maß | 90 | .297 | .206 |
| Schlussfolgerungs-Maß | 90 | .240 | .287 |

Tabelle 10.3: Mittelwerte und Standardabweichungen der Strategienutzungsmaße der Chemie-Lernumgebung

| Verhaltensmaße Lernumgebung Chemie | <i>N</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> |
|---|-----------------|-----------------|------------------|
| IVK-Maß | 82 | .409 | .328 |
| Hypothesen-Maß | 82 | .366 | .206 |
| Schlussfolgerungs-Maß | 82 | .339 | .282 |

Es zeigten sich für alle Strategienutzungsmaße in der Chemie-Lernumgebung und in der Physik-Lernumgebung zumindest bezogen auf das Schlussfolgerungs-Maß höhere Mittelwerte als in der Korrelationsstudie (vgl. Abschnitt 9.3.1). Insgesamt war aber immer noch eine geringe Strategienutzung zu sehen; der Anteil des strategischen Vorgehens lag maximal bei 50 %.

10.3.2 Inhaltlicher Lernzuwachs

Zunächst wurde für die Gesamtstichprobe berechnet, ob es durch das Arbeiten mit den computerbasierten Experimentierumgebungen zu einem inhaltlichen Lernzuwachs gekommen ist. Die Ergebnisse der T-Tests zeigten eine signifikante Zunahme des inhaltlichen Wissens sowohl zu dem physikalischen Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“ ($t(89) = -3.576$; $p < .01$) als auch zu dem chemischen Thema „Säuren und Basen“ ($t(81) = -13.305$; $p < .001$). Die Mittelwerte und Standardabweichungen zu den entsprechenden Prä- und Posttestwerten finden sich in Tabelle 10.1. Damit hatte der beobachtete Effekt für Physik eine kleine Effektstärke von $d = .37$ und der Effekt für Chemie eine große Effektstärke von $d = 1.59$.

10.3.3 Überprüfung von a-priori Gruppenunterschieden

Um zu überprüfen, ob sich die Schüler in den Gruppen von vornherein in ihren Eingangsvoraussetzungen unterscheiden, wurden Varianzanalysen zur Vorhersage der erhobenen Kontrollvariablen anhand der Gruppenvariable gerechnet. Die Gruppen unterschieden sich weder in den kognitiven Fähigkeiten ($F(3,83) = .584$; $p = .627$; $\eta^2 = .021$), der aktuellen Motivation zu Beginn ($F(3,87) = 1.170$; $p = .326$; $\eta^2 = .039$), dem Interesse in Physik ($F(3,89) = .228$; $p = .877$; $\eta^2 = .008$) und dem Interesse in

Chemie ($F(3,89) = .403$; $p = .751$; $\eta^2 = .013$), noch im Vorwissen Physik ($F(3,89) = .061$; $p = .980$; $\eta^2 = .002$), Vorwissen Chemie ($F(3,78) = 1.108$; $p = .351$; $\eta^2 = .041$) oder strategischen Vorwissen ($F(3,89) = .911$; $p = .439$; $\eta^2 = .030$). Daraus ergibt sich für die nachfolgenden Analysen, dass keine dieser Kontrollvariablen als Kovariate berücksichtigt werden muss. Im Anhang H findet sich eine Tabelle, die Mittelwerte und Standardabweichungen der erhobenen Kontrollvariablen nach den Gruppenbedingungen getrennt auflistet.

10.3.4 Einschätzung der Unterstützungsmaßnahmen durch die Schüler

Hypothese 2.1 enthält die Vermutung, dass Lerner, die mit adaptiver Unterstützung lernen, ihre Unterstützung als hilfreicher empfinden als Lerner, die ohne adaptive Unterstützung lernen. Um diese Annahme zu überprüfen, wurde berechnet, ob sich die Experimentalgruppen in der Wahrnehmung und Einschätzung der Unterstützungsmaßnahmen unterscheiden. Als abhängige Variable bietet sich hier der Gesamtscore des Fragebogens zur Beurteilung der Unterstützungsmaßnahmen an, noch angemessener scheint allerdings Item 2 aus diesem Fragebogen, da dieses direkt abfragt, wie hilfreich die Unterstützung wahrgenommen wurde. Tabelle 10.4 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Gruppen für den Gesamtscore und Tabelle 10.5 zeigt sie für Item 2 des Fragebogens. Zur Vorhersage beider abhängiger Variablen anhand der Gruppenvariablen wurden zunächst ANOVAs gerechnet.

Tabelle 10.4: Mittelwerte und Standardabweichungen für Beurteilung der Unterstützung (Gesamtscore)

| Experimentalgruppe | <i>N</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> |
|--------------------|----------|----------|-----------|
| EG1 | 23 | .569 | .203 |
| EG2 | 22 | .609 | .171 |
| EG3 | 16 | .677 | .179 |

Im Gesamtscore zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ($F(2,58) = 1.593$; $p = .212$; $\eta^2 = .052$), wenn auch die Mittelwerte deskriptiv die vermutete Richtung anzeigten (vgl. Tabelle 10.4).

Tabelle 10.5: Mittelwerte und Standardabweichungen für Item 2 (Unterstützung ist hilfreich)

| Experimentalgruppe | <i>N</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> |
|--------------------|----------|----------|-----------|
| EG1 | 23 | .486 | .284 |
| EG2 | 22 | .659 | .202 |
| EG3 | 16 | .708 | .269 |

Die beiden Gruppen mit adaptiver Unterstützung (EG2 und EG3) wurden zusammengefasst und gegenüber der Gruppe ohne adaptive Unterstützung (EG1) betrachtet. Da zu den einzelnen Gruppenunterschieden gerichtete Hypothesen vorliegen, wurde im Folgenden einseitig getestet. Der berechnete Kontrast zeigte, dass EG1 einen signifikant niedrigeren Wert in der Gesamtbeurteilung der Unterstützung aufweist als die adaptiven Gruppen EG2 und EG3 ($t(58) = 18.979$; $p < .001$ (einseitig)).

Abbildung 10.2 zeigt Boxplots der Experimentalgruppen für ihre Werte in Item 2.

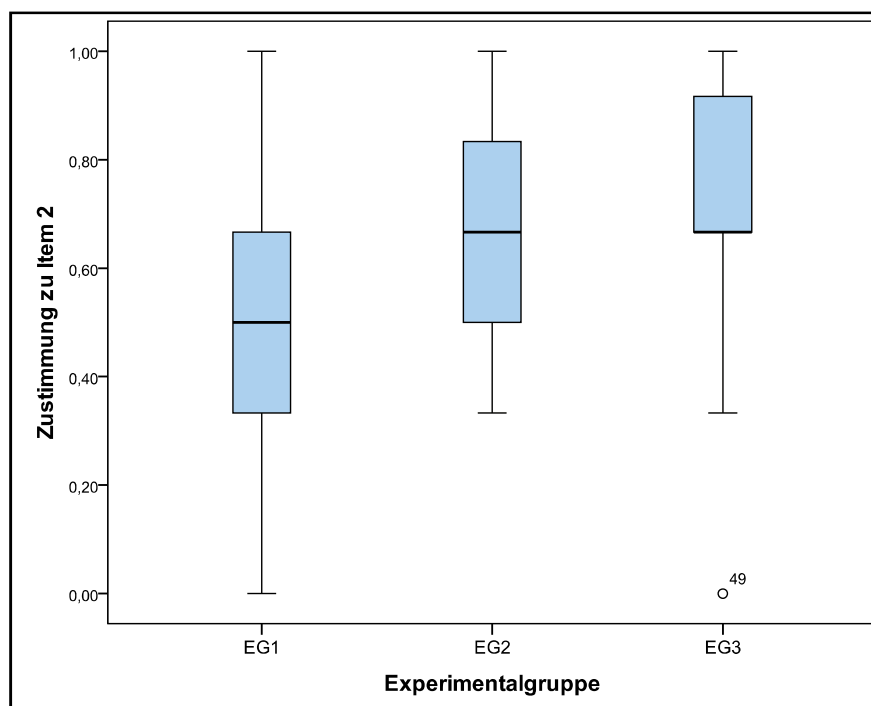


Abbildung 10.2: Boxplots der Experimentalgruppen in Item 2 (Unterstützung ist hilfreich)

Man sieht, dass die Probanden in EG1 deutlich weniger in ihrer Beurteilung der Unterstützung übereinstimmen. Die Gruppen mit adaptiver Unterstützung (EG2 und EG3) zeigten eine Verteilung, die insgesamt näher zusammen und in Richtung stärkerer Zustimmung ging. In EG3 gab es allerdings einen Ausreißer, der stark von der sonst eher

positiven Einschätzung der Unterstützung abwich. Die berechnete ANOVA für Item 2, das lautet „Die eingeblendeten Informationen waren hilfreich für mich“, zeigte signifikante Gruppenunterschiede ($F(2,58) = 4.397$; $p = .017$; $\eta^2 = .132$). Es wurden deshalb Kontraste gerechnet, um zu prüfen, ob sich die Gruppen in der erwarteten Richtung signifikant voneinander unterscheiden. Gegenüber der Gruppe mit nicht-adaptiven Prompts (EG1) zeigte dabei sowohl die Feedback-Gruppe (EG3) ($t(58) = 2.704$; $p < .01$ (einseitig)) als auch die Gruppe mit adaptiven Prompts (EG2) ($t(58) = 2.300$; $p < .01$ (einseitig)) eine signifikant höhere Zustimmung zu diesem Item. Die beiden Gruppen mit adaptiver Unterstützung empfanden also ihre Unterstützung jeweils als hilfreicher als die Gruppe mit nicht-adaptiver Unterstützung, was für die Hypothese 2.1 spricht.

10.3.5 Wirkung der Unterstützungsmaßnahmen auf Motivation

Als nächstes wurde Hypothese 3.1 überprüft, in der vermutet wird, dass die Lerner mit adaptivem Feedback nach der Intervention stärker motiviert sind als die Lerner der anderen Gruppen. Dabei wurde als abhängige Variable die Motivationszunahme nach Bearbeiten der Lernumgebung verwendet, so gehen Unterschiede nicht zurück auf bereits bestehende Unterschiede in der Eingangsmotivation. Als Werte für die Motivationszunahme wurden die standardisierten Residuen einer berechneten Regressionsanalyse zur Vorhersage von der Motivation nach Bearbeiten der Lernumgebung durch die Motivation vor Bearbeiten der Lernumgebung verwendet. Tabelle 10.6 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen aller Gruppen für diese Motivationszunahme an.

Tabelle 10.6: Mittelwerte und Standardabweichungen der Motivationszunahme zu Testtag 1

| Motivationszunahme an Testtag 1 | N | M | SD |
|---------------------------------|----|-------|-------|
| KG | 26 | .144 | .907 |
| EG1 | 23 | -.179 | .833 |
| EG2 | 23 | -.267 | 1.258 |
| EG3 | 18 | .401 | .810 |

Es wurde zur Vorhersage dieser abhängigen Variablen durch die Gruppenvariable eine ANOVA berechnet. Es zeigte sich hierbei ein tendenzieller Unterschied zwischen den

Gruppen ($F(3,86) = 2.175$; $p = .098$; $\eta^2 = .071$). Da auch hier gerichtete Hypothesen zu spezifischen Gruppenunterschieden vorliegen, wurden nachfolgend Einzelvergleiche einseitig getestet. Diese berechneten Kontraste zeigten, dass signifikante Unterschiede zwischen EG3 und EG1 ($t(86) = -1.891$; $p < .05$ (einseitig)) und zwischen EG3 und EG2 ($t(86) = 2.276$; $p < .05$ (einseitig)) bestehen. Dabei hatte in beiden Fällen die EG3 den höheren Mittelwert in der Motivationszunahme (siehe auch Abbildung 10.3).

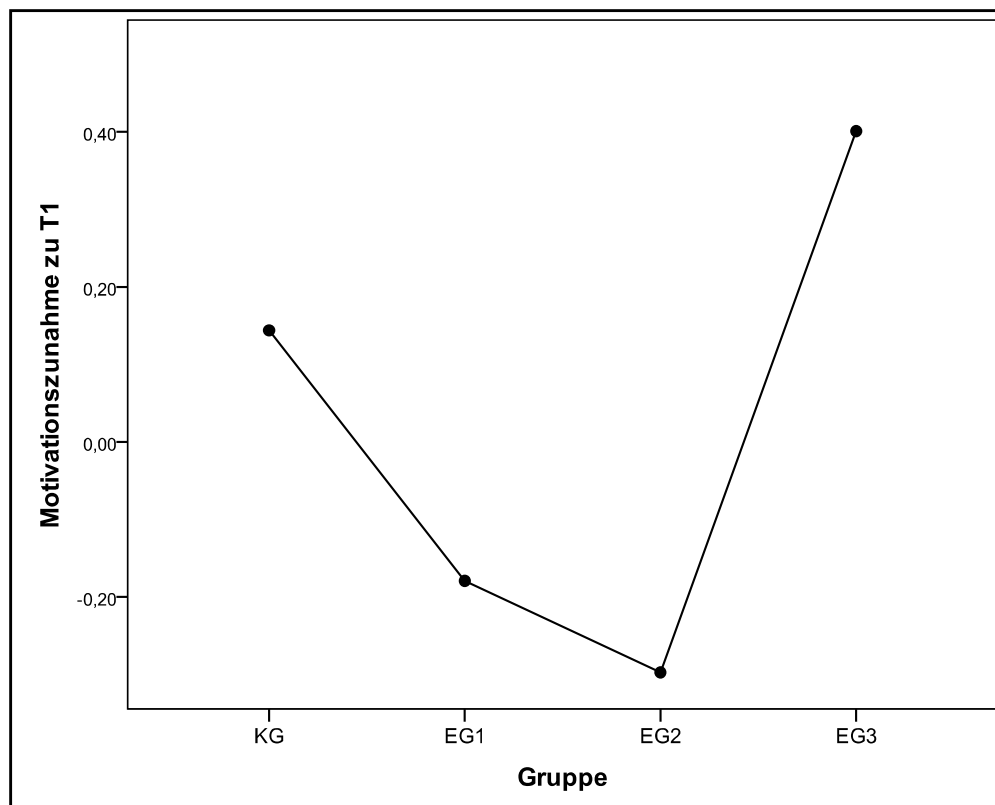


Abbildung 10.3: Gruppenmittelwerte zur Motivationszunahme nach der Intervention

In einem nächsten Schritt wurde geprüft, ob sich diese Unterschiede zwischen den Gruppen ergeben, weil die Motivation in der EG3 zunahm und/oder weil sie in den anderen Gruppen abnahm. Tabelle 10.7 stellt die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Motivation gemessen vor und nach der Intervention der einzelnen Gruppen dar.

Tabelle 10.7: Mittelwerte und Standardabweichungen der aktuellen Motivation vor und nach der Intervention

| Experimentalgruppe | Motivation prä | | Motivation post | |
|--------------------|----------------|-----------|-----------------|-----------|
| | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> |
| KG | .478 | .219 | .407 | .246 |
| EG1 | .452 | .226 | .345 | .256 |
| EG2 | .553 | .149 | .390 | .232 |
| EG3 | .467 | .186 | .443 | .180 |

T-Tests für gepaarte Stichproben zeigten eine signifikante Abnahme der Motivation für EG1 ($t(22) = 4.075$; $p < .01$), für EG2 $t(22) = 3.493$; $p < .01$) und für die KG $t(25) = 2.279$; $p < .05$). Bei EG3 zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Motivation vor und nach der Intervention.

10.3.6 Wirkung der Unterstützungsmaßnahmen auf Strategienutzung

Zu diesem Abschnitt gehören die Hypothese 3.2 und Hypothese 2.2. In diesen wird vermutet, dass sich adaptives Feedback mit Prompts positiver als Prompts ohne Feedback auf die gezeigte Strategienutzung auswirkt, wobei adaptive Prompts wiederum positiver als nicht-adaptive Prompts wirken.

Um die tatsächliche Strategienutzung zu erfassen, wurden drei Maße benutzt (vgl. Kapitel 8.1). An dieser Stelle werden diese Maße nacheinander einzeln betrachtet. Tabelle 10.8 gibt die Mittelwerte und Standardabweichungen in den Strategienutzungsmaßen, gemessen während des unterstützten Lernprozesses (zu Testtag 1), für die Gruppen getrennt wieder. Zunächst wurde zur Vorhersage des IVK-Maßes anhand der Gruppenvariablen eine ANOVA gerechnet. Es zeigten sich in diesem Maß allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ($F(3,86) = 1.323$; $p = .272$; $\eta^2 = .044$).

Es folgte zur Vorhersage des Hypothesen-Maßes anhand der Gruppenvariablen die Berechnung einer weiteren ANOVA. In diesem Maß steckt die Interaktion zwischen Hypothesen aufstellen und strategischen Experimenten (also die Anwendung der IVK-Strategie), es beinhaltet insofern mehr strategisches Vorgehen als das IVK-Maß. Allerdings zeigten sich auch hier keinerlei Gruppenunterschiede bezüglich der Mittelwerte ($F(3,86) = .133$; $p = .940$; $\eta^2 = .044$).

Tabelle 10.8: Mittelwerte und Standardabweichungen der Strategienutzung zu Testtag 1

| Strategienutzung zu Testtag 1 | | <i>N</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> |
|-------------------------------|-----|----------|----------|-----------|
| IVK-Maß | | | | |
| | KG | 25 | .515 | .232 |
| | EG1 | 24 | .436 | .231 |
| | EG2 | 23 | .567 | .248 |
| | EG3 | 18 | .553 | .276 |
| Hypothesen-Maß | | | | |
| | KG | 25 | .314 | .223 |
| | EG1 | 24 | .281 | .232 |
| | EG2 | 23 | .304 | .209 |
| | EG3 | 18 | .285 | .148 |
| Schlussfolgerungs-Maß | | | | |
| | KG | 25 | .212 | .260 |
| | EG1 | 24 | .156 | .262 |
| | EG2 | 23 | .250 | .301 |
| | EG3 | 18 | .377 | .307 |

Zuletzt wurde eine ANOVA zur Vorhersage des Schlussfolgerungs-Maßes anhand der Gruppenvariable gerechnet. Dieses Maß beinhaltet das Aufstellen von Hypothesen, die in strategischen Experimenten (IVK-Experimenten) getestet wurden und anschließend als Schlussfolgerung festgehalten wurden. In diesem Maß steckt folglich der Dreischritt des Experimentierens und es umfasst somit am umfassendsten von allen drei Maßen das strategische Verhalten. Die ANOVA zeigte für diese Variable tendenzielle Unterschiede zwischen den Gruppen an ($F(3,86) = 2.220$; $p = .092$; $\eta^2 = .072$). Abbildung 10.4 zeigt diese Gruppenunterschiede grafisch.

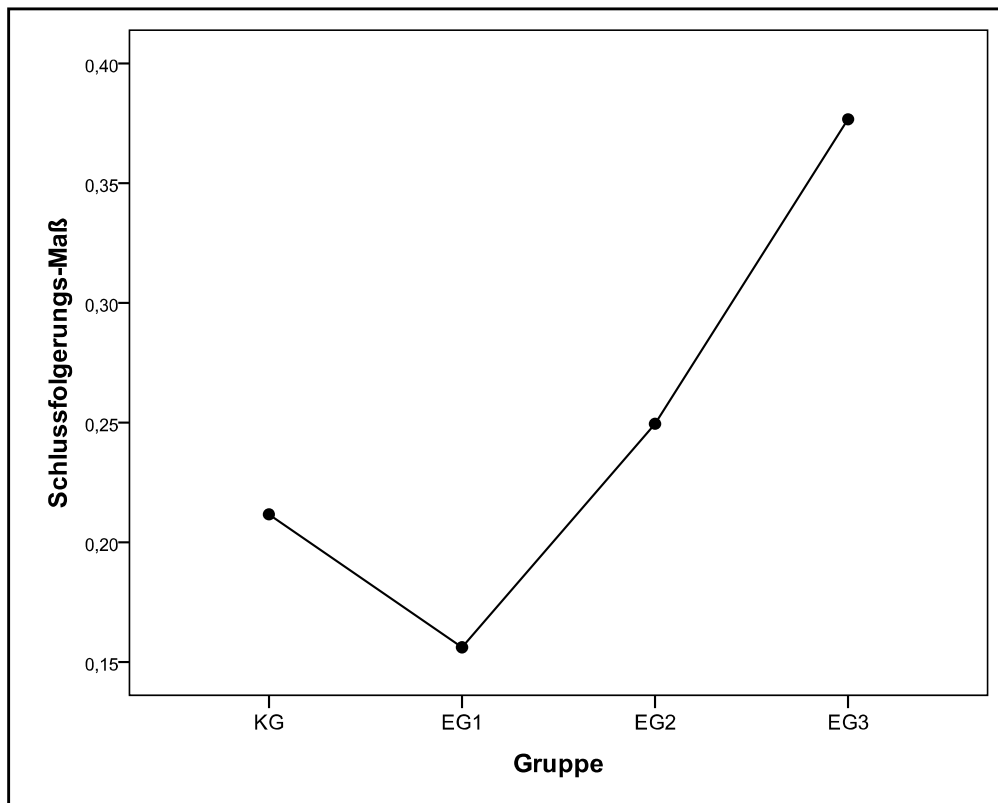


Abbildung 10.4: Gruppenmittelwerte im Schlussfolgerungs-Maß

Um zu prüfen, ob sich einzelne Gruppen, wie erwartet, unterscheiden, wurden Kontraste berechnet. Da auch hier gerichtete Hypothesen bezüglich der Gruppenunterschiede vorliegen, wurde einseitig getestet. Dabei zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen der Feedback-Gruppe (EG3) und der Kontrollgruppe ($t(86) = -1.898$; $p < .05$ (einseitig)) und zwischen der Feedback-Gruppe und der Gruppe mit nicht-adaptiven Prompts (EG1) ($t(86) = -2.514$; $p < .01$ (einseitig)).

Hypothese 2.2 ließ sich somit nicht bestätigen, während Hypothese 3.2 zumindest teilweise bestätigt werden konnte.

10.3.7 Wirkung der Unterstützungsmaßnahmen auf inhaltliches Wissen

Die Hypothesen 2.3 und 3.3 vermuten nach der Intervention zu Testtag 1 keine Gruppenunterschiede bezüglich des inhaltlichen Wissenszuwachses. In diesem Fall sind die Hypothesen folglich ungerichtet und es wurde zweiseitig getestet. Tabelle 10.9 enthält die Mittelwerte und Standardabweichungen des residualen inhaltlichen Lerngewinns für alle vier Gruppen, erfasst über den WET Physik.

Tabelle 10.9: Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen im residualen Lerngewinn

| Residualer Lerngewinn (WET Physik) | <i>N</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> |
|---|-----------------|-----------------|------------------|
| KG | 26 | .243 | 1.215 |
| EG1 | 23 | .042 | .857 |
| EG2 | 23 | -.009 | .979 |
| EG3 | 18 | -.207 | .846 |

Zur Vorhersage dieser abhängigen Variable durch die Gruppenvariable wurde eine ANOVA berechnet. Wie erwartet zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in den Mittelwerten der Gruppen ($F(3,86) = .737$; $p = .533$; $\eta^2 = .025$). Hypothese 2.3 und 3.3 konnten folglich bestätigt werden.

10.3.8 Wirkung der Unterstützungsmaßnahmen auf Transfer

Hypothese 2.4 und 3.4 beziehen sich auf Gruppenunterschiede in der Transfer-Messung zum zweiten Testtag. Dabei wird ein Vorteil für die Feedbackgruppe gegenüber der Gruppe mit adaptiven Prompts vermutet, welche wiederum den Gruppen ohne adaptive Unterstützung überlegen sein sollte. Dieses wird sowohl für die Strategienutzung als auch für den inhaltlichen Lerngewinn angenommen. Hier liegen also erneut gerichtete Hypothesen vor. Tabelle 10.10 listet die Mittelwerte und Standardabweichungen der abhängigen Variablen nach den Gruppenbedingungen getrennt auf.

Zur Erfassung der Strategienutzung wurden in der Experimentierumgebung zur Transfer-Messung analoge Maße wie unter 10.3.5 verwendet, also das IVK-Maß, das Hypothesen-Maß und das Schlussfolgerungs-Maß. Es wurden deshalb im Folgenden drei ANOVAs zur Vorhersage dieser drei abhängigen Variablen durch die Gruppenvariable berechnet.

Für das IVK-Maß zeigte die ANOVA keine signifikanten Gruppenunterschiede ($F(3,78) = .748$; $p = .528$; $\eta^2 = .028$). Ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Gruppenmittelwerten zeigten sich für das Hypothesen-Maß ($F(3,78) = .694$; $p = .558$; $\eta^2 = .026$). Zum gleichen Ergebnis führte die ANOVA für das Schlussfolgerungs-Maß ($F(3,78) = 1.275$; $p = .290$; $\eta^2 = .042$).

Tabelle 10.10: Gruppenmittelwerte und Standardabweichungen der AV zu Testtag 2

| Abhängige Variablen im Transfer | | <i>N</i> | <i>M</i> | <i>SD</i> |
|------------------------------------|-----|----------|----------|-----------|
| IVK-Maß | | | | |
| | KG | 22 | .404 | .302 |
| | EG1 | 22 | .337 | .313 |
| | EG2 | 20 | .417 | .327 |
| | EG3 | 18 | .493 | .379 |
| Hypothesen-Maß | | | | |
| | KG | 22 | .406 | .213 |
| | EG1 | 22 | .317 | .176 |
| | EG2 | 20 | .368 | .270 |
| | EG3 | 18 | .375 | .145 |
| Schlussfolgerungs-Maß | | | | |
| | KG | 22 | .363 | .188 |
| | EG1 | 22 | .420 | .329 |
| | EG2 | 23 | .268 | .335 |
| | EG3 | 18 | .290 | .241 |
| Residualer Lerngewinn (WET Chemie) | | | | |
| | KG | 21 | .374 | .976 |
| | EG1 | 22 | .389 | .779 |
| | EG2 | 21 | -.015 | 1.036 |
| | EG3 | 18 | .059 | .796 |

Der inhaltliche Lerngewinn wurde berechnet über den residualen Lerngewinn im WET Chemie. Zur Vorhersage dieser abhängigen Variable durch die Gruppenvariable wurde eine ANOVA gerechnet. Diese ANOVA zeigte allerdings ebenfalls keine signifikanten Gruppenunterschiede ($F(3,78) = 1.116$; $p = .348$; $\eta^2 = .041$).

Es zeigten sich entgegen der Hypothesen keine Unterschiede der Gruppen im Transfer, die Hypothesen 2.4 und 3.4 konnten nicht bestätigt werden.

10.4 Diskussion

In diesem Unterkapitel werden die dargestellten Ergebnisse der Studie zunächst getrennt nach den zwei untersuchten Forschungsfragen diskutiert. Es folgt am Ende eine allgemeine Diskussion bezüglich der in dieser Studie eingesetzten Unterstützungsmaßnahmen.

Diskussion zu Forschungsfrage 2

Die zweite Forschungsfrage dieser Arbeit bezog sich auf adaptive Unterstützungsmaßnahmen. Dazu wurden vier Hypothesen aufgestellt, die im Ergebnisteil dieser Arbeit überprüft wurden.

Dabei kann die erste Hypothese 2.1, die besagt, dass adaptive Unterstützung als hilfreicher wahrgenommen wird als nicht-adaptive Unterstützung, im Prinzip als bestätigt gelten. Zwar zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Gesamtbeurteilung der Unterstützungsmaßnahmen, stattdessen aber in dem Item, welches sich direkt darauf bezog, wie hilfreich die Unterstützung beurteilt wurde. Signifikant höher war diese Beurteilung sowohl in der Gruppe mit adaptiven Prompts als auch mit adaptivem Feedback gegenüber der Gruppe mit nicht-adaptiven Prompts. Einen ähnlichen Befund bezüglich der Beurteilung von adaptiven Hilfen fanden auch schon Schwonke et al. (2006). Dieses Ergebnis kann als eine wichtige Voraussetzung dafür gewertet werden, dass sich die adaptive Unterstützung auch objektiv als lernförderlicher erweist. Denn nur wenn Lerner Unterstützungsmaßnahmen als hilfreich wahrnehmen, werden sie sie auch nutzen (vgl. King, 1994; O'Sullivan & Pressley, 1984; Pressley et al., 1984). Allerdings reicht die positive Einstellung gegenüber Unterstützungsmaßnahmen alleine nicht unbedingt aus, um den Lernerfolg zu beeinflussen (vgl. Pridemore & Klein, 1991, 1995).

Durch die eingesetzten Unterstützungsmaßnahmen sollte primär die Strategienutzung beim SRL durch Experimentieren gefördert werden. Hypothese 2.2 beinhaltete diese Auswirkung der adaptiven Unterstützung auf die Strategienutzung. Die Strategienutzung wurde in dieser Studie über drei Maße erfasst, die nach dem enthaltenen Umfang an strategischem Vorgehen in eine Rangfolge zu bringen sind. Während das IVK-Maß nur die Experimente mit isolierender Variablenkontrolle erfasst, sind im Hypothesen-Maß die IVK-Experimente zu finden, zu denen zusätzlich eine Relation im Sinne einer Hypothese aufgestellt wurde. Das Schlussfolgerungs-Maß umfasst noch einen weiteren Schritt, indem hier die IVK-Experimente mit Hypothese gezählt werden, wenn diese zudem eine Schlussfolgerung nach sich ziehen, im Sinne von Bestätigen einer Hypothese. Für die

Interpretation der Ergebnisse ist es wichtig, diese Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Maße noch einmal deutlich zu machen. Signifikanztests zeigten nur im Schlussfolgerungs-Maß signifikante Gruppenunterschiede an, die wiederum nicht zwischen der Gruppe mit adaptiven Prompts und einer anderen Gruppen lagen (siehe hierzu im nächsten Abschnitt die Diskussion zu Hypothese 3.2). Somit kann Hypothese 2.2, die annahm, dass adaptive Unterstützung in Bezug auf Strategienutzung lernförderlicher ist als nicht-adaptive Unterstützung, nicht bestätigt werden.

Im Gegensatz zur Strategienutzung wurde für das inhaltliche Wissen laut Hypothese 2.3 kein Vorteil für die adaptiv unterstützten Gruppen erwartet. Hier wurde kein Unterschied vermutet, da die Unterstützungsmaßnahmen auf Experimentierstrategien abzielten und inhaltlich keine Hilfe darstellten. Auch andere Studien fanden häufig Effekte auf den Lernprozess aber nicht auf das Lernprodukt in Form von inhaltlichem Lernzuwachs (van den Boom et al., 2004; van Joolingen & de Jong, 1991, 1993; Winters et al., 2008). Die Ergebnisse zeigen auch in dieser Studie, wie erwartet, keine signifikanten Gruppenunterschiede im inhaltlichen Lernzuwachs auf. Hypothese 2.3 kann somit bestätigt werden. Deskriptiv zeigte sich hier jedoch die Kontrollgruppe als die beste Gruppe. Man kann vermuten, dass durch die strategischen Hilfen die Lerner auf diesen Bereich fokussierten und den inhaltlichen Wissenserwerb dadurch möglicherweise vernachlässigten. Zudem mussten die Lerner der Experimentalgruppen alle vier Minuten zusätzlich Informationen, in Form der eingeblendeten Textbotschaften, verarbeiten. Diese beanspruchten sie vermutlich kognitiv und sie konnten so im Vergleich zur Kontrollgruppe möglicherweise weniger Anstrengung in den inhaltlichen Wissenserwerb investieren.

Dieser vermeintliche Nachteil durch die strategischen Hilfen sollte, wie in Hypothese 2.4 vermutet, im Transfer nicht mehr bestehen. Der vermutete Vorteil der adaptiven Unterstützung bezogen auf Strategienutzung und auch inhaltlichen Lernzuwachs im Transfer konnte allerdings nicht bestätigt werden. In diesen abhängigen Variablen konnten keine signifikanten Gruppenunterschiede gefunden werden. Somit kann Hypothese 2.4 nicht bestätigt werden. Eine Ursache hierfür könnte sein, dass die Intervention mit den Unterstützungsmaßnahmen nur während einer einmaligen 20-minütigen Lernphase stattfand. Diese kurze Interventionszeit reichte vermutlich nicht aus, um Effekte in einer Transferumgebung, in der keinerlei Unterstützung gegeben wurde, nach sich zu ziehen. Zumal die Generalisierung von Strategien ein langer Prozess ist und spontaner Strategietransfer sehr selten ist (Baumert, 1993). Das „plötzliche Verschwinden“ der Unterstützung könnte ebenfalls eine Erklärung für fehlende Effekte sein. In vielen Studien

wird davon gesprochen, Unterstützung langsam ausklingen zu lassen. Dieses sogenannte *fading* ist in das Konzept des *scaffolding* bei vielen Autoren integriert (Azevedo & Hadwin, 2005; Azevedo et al., 2004a; Putambekar & Hübscher, 2005). Ein fehlendes *fading* könnte sich hier insofern nachteilig ausgewirkt haben, dass dadurch bei den Schülern, die durch die erste Lernumgebung Unterstützung gewöhnt waren, eine Erwartung nicht erfüllt wurde. So könnten negative emotional-motivationale Effekte aufgetreten sein. Dieses lässt sich besonders für die adaptiv unterstützten Gruppen vermuten, da diese ihre Unterstützung als hilfreicher wahrgenommen hatten. Die technische Möglichkeit, die Unterstützung Schritt für Schritt parallel zum Anstieg der Kompetenz auszublenden, wie unter anderem bei Hogan und Pressley (1997) gefordert, sollte vom Prinzip her gerade bei mikro-adaptiver Unterstützung umsetzbar sein.

Eine weitere Erklärung für die fehlenden Transfereffekte liegt in der Transferumgebung zu „Säuren und Basen“ begründet. Möglich ist, dass diese doch zu unterschiedlich zur Interventions-Lernumgebung zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ gewesen ist. Es zeigte sich bereits im vorherigen Kapitel, dass in der Lernumgebung zu „Säuren und Basen“ die Strategienutzungsmaße weniger mit dem Lernerfolg zusammenhingen als in der Lernumgebung zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“. Bereits am Ende von Kapitel 9 wurde die Validität der Strategienutzungsmaße in der Lernumgebung zu „Säuren und Basen“ kritisch diskutiert. Insofern könnte möglicherweise auch ein methodisches Problem dazu beigetragen haben, dass sich im Transfer keine Effekte zeigten.

Zur zweiten Forschungsfrage dieser Arbeit lässt sich zusammenfassend feststellen, dass die adaptive Unterstützung zwar als hilfreicher eingeschätzt wurde als die nicht-adaptive Unterstützung, dieses aber nicht zu einer stärkeren Lernförderlichkeit führte. Vielmehr zeigten sich keine Effekte bezüglich Strategienutzung oder inhaltlichem Lernerfolg.

Diskussion Forschungsfrage 3

Die dritte Forschungsfrage dieser Arbeit beschäftigte sich mit der vermuteten höheren Lernförderlichkeit einer anderen Form adaptiver Unterstützung, nämlich strategiebezogenem Feedback. Auch hierzu wurden fünf Hypothesen formuliert.

Hypothese 3.1 enthielt dabei die Vermutung, dass diese Unterstützung mit Feedback motivationsförderlicher ist als andere Unterstützungsformen. Diese Hypothese konnte bestätigt werden. Es zeigten sich signifikante Gruppenunterschiede in der Motivationszunahme nach der Intervention. Dabei hatte, wie erwartet, die Gruppe, die mit Feedback unterstützt wurde, gegenüber der Gruppe mit nicht-adaptiven Prompts und auch

der Gruppe mit adaptiven Prompts eine signifikant höhere Motivation. Diese beiden anderen Experimentalgruppen, die nur Prompts erhielten, und die Kontrollgruppe zeigten eine signifikante Motivationsabnahme nach der Intervention. Es scheint also so zu sein, dass die zusätzliche Rückmeldung die Motivation der Lerner aufrechterhält, während das Fehlen einer Rückmeldung beim Geben von Unterstützungsmaßnahmen die Motivation absinken lässt. Das mag dadurch zu erklären sein, dass das Feedback eine Erklärung liefert, warum ein adaptiver Hinweis folgt. Nur diese Hinweise zu bekommen, ist somit weniger nachvollziehbar für Lerner und wird mit der Zeit vielleicht eher als irritierend oder störend empfunden, was die Motivation sinken lässt.

Hypothese 3.2 bezieht sich wie Hypothese 2.2 auf die Strategienutzung. Adaptive Unterstützung mit Feedback sollte zu einer stärkeren Strategienutzung führen als Unterstützung ohne Feedback. Diese Hypothese konnte in Teilen bestätigt werden. Zwar zeigten sich weder im IVK-Maß noch im Hypothesen-Maß Unterschiede, aber im Schlussfolgerungs-Maß unterschieden sich die Gruppenmittelwerte signifikant. Hier zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen der Feedback-Gruppe und der Kontrollgruppe und zwischen der Feedback-Gruppe und der Gruppe mit nicht-adaptiven Prompts. Da die Gruppe mit adaptiven Prompts weder der Kontrollgruppe noch der Gruppe mit nicht-adaptiven Prompts signifikant überlegen war, ist es für die Strategienutzung am effektivsten mit adaptivem strategiebezogenem Feedback zu unterstützen. Wie bereits erwähnt ist das Schlussfolgerungs-Maß auch das Maß, was den Dreischritt beim Experimentieren widerspiegelt, da das Aufstellen von Hypothesen und das Testen dieser Hypothesen in IVK-Experimenten mit enthalten sind. Da sich also Unterschiede in diesem Maß zeigen, welches zudem unter den drei Maßen den niedrigsten Mittelwert zeigte, ist es gelungen, die bisher seltene Anwendung des gesamten Experimentierzyklus zu fördern.

Wie in Hypothese 2.3 wurde auch in Hypothese 3.3 bezogen auf den inhaltlichen Wissenszuwachs kein Unterschied zwischen der Gruppe mit Feedback und den anderen Gruppen erwartet. Diese Hypothese wurde bestätigt (vgl. hierzu Argumentation zu Hypothese 2.3).

Wie für die adaptiven Prompts zeigten sich auch für das adaptive Feedback nicht die in Hypothese 3.4 erwarteten Vorteile im Transfer. An dieser Stelle sind die gleichen Gründe zu vermuten, die bereits zu Hypothese 2.4 beschrieben wurden.

Zur dritten Forschungsfrage dieser Arbeit lässt sich somit zusammenfassend sagen, dass strategiebezogenes Feedback mit adaptiven Hinweisen motivationsförderlicher ist als

Unterstützung ohne Feedback. Zudem erwies es sich zumindest in Bezug auf die Strategienutzung als lernförderlich. Insofern ist das strategiebezogene Feedback mit adaptiven Hinweisen diejenige Unterstützung, die im Vergleich zu den anderen eingesetzten Unterstützungen die besten Ergebnisse erzielte, auch wenn es keine starken Effekte sind. Zu bedenken ist, dass die untersuchte Unterstützungsmaßnahme in der hier umgesetzten Form erstmalig getestet wurde. Es gab keine Pilotstudien, in denen einzelne Aspekte der Gestaltung und Präsentation des Feedbacks hätten getestet und optimiert werden können.

Allgemeine Diskussion zu den Unterstützungsmaßnahmen

Obwohl gezeigt werden konnte, dass die adaptive Unterstützung im Mittel als hilfreich und zwar stärker als nicht-adaptive Unterstützung wahrgenommen wurde, wirkte sich dieses nicht unbedingt auf ihre Effektivität aus. Es gab zudem auch einzelne Personen, die diese positive Einschätzung der Hilfen nicht teilten. Beispielsweise wies die Feedback-Gruppe einen Ausreißer bezüglich dieser Einschätzung auf. Es ist zu vermuten, dass bei Personen, die die Unterstützung nicht als hilfreich wahrnehmen, keine positive Wirkung der Unterstützung zu finden ist.

Es konnten zwar positive Effekte für das Feedback nachgewiesen werden, insgesamt sind aber weniger positive Effekte der Unterstützungsmaßnahmen als erwartet gefunden worden. Zum einen mag das an der kurzen Interventionszeit liegen, eine 20-minütige unterstützte Lernphase reicht vermutlich nicht aus, um die Strategienutzung ausreichend zu üben, so dass sie automatisiert wird und auch Effekte im Transfer zu finden sind (Friedrich, 1992; Haller, Child & Walberg, 1988; van den Boom et al., 2004).

Es zeigten sich keinerlei signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe mit nicht-adaptiven Prompts und der Kontrollgruppe. Deskriptiv schnitt die Gruppe mit den nicht-adaptiven Prompts sogar schlechter ab als die Kontrollgruppe. Das bestätigt die Aussage, dass nicht automatisch jede Unterstützung besser ist als gar keine Unterstützung (vgl. de Jong, 2005).

In gewisser Weise können die eingesetzten Unterstützungsmaßnahmen auch als eine Störung für den Lerner betrachtet werden, denn durch diese Botschaften wurden die Lerner alle vier Minuten in ihrem Lernprozess unterbrochen und so wurde eventuell Lernen behindert (vgl. Corno & Snow, 1986). Durch die Unterbrechungen könnten die Aufmerksamkeit und kognitiven Verarbeitungsprozesse gestört worden sein, was wiederum auch dazu geführt haben könnte, dass viele Lerner die Botschaften ungelesen

weggeklickt haben. Die Kontrollgruppe wurde dagegen in ihrem Lernprozess nicht durch Unterbrechungen gestört. Um vergleichbare Bedingungen zu schaffen, wäre eine Möglichkeit, die KG ebenfalls alle vier Minuten durch Botschaften zu unterbrechen. Allerdings würden sie durch ihre Botschaften, die dann ja nichts mit dem Bearbeiten der Aufgabe zu tun haben dürften, vermutlich erheblich stärker gestört als die Experimentalgruppen durch ihre Botschaften. Man würde die KG so eventuell zu stark benachteiligen. Eine andere Überlegung ist, ob man von vornherein die Lernphase in kleine Phasen unterteilt, nach denen dann die Botschaften dargeboten werden, und beispielsweise den Lerner darüber informiert, dass er alle vier Minuten ein Feedback bekommt. Mit Hilfe der eingeblendeten Zeit bis zur nächsten Botschaft, könnte der Lerner so seinen Lernprozess entsprechend planen. Eine andere Möglichkeit, die nicht dazu führt, dass der Lernprozess des Schülers gestört wird, wären optionale Unterstützungsmaßnahmen. Der Lerner könnte dann selbst den Zeitpunkt wählen, wann die Hilfe dargeboten wird, passend zu seinem individuellen Lernprozess. Die Unterstützung wäre also weniger fremdreguliert. Bei Swaak et al. (1997, nach de Jong et al., 1998) zeigten sich bestimmte Unterstützungsmaßnahmen nur dann als lernförderlich, wenn sie optional bearbeitet werden konnten. Nach Shute (2008) sollte Feedback gegeben werden, wenn der Lerner es braucht, zu der Zeit, wann er es braucht und wenn er in der Lage und bereit ist, es zu nutzen, was für optionales Feedback sprechen könnte. Allerdings bestünde dabei der Nachteil, dass Schüler optionale Hilfen/optionales Feedback möglicherweise gar nicht nutzen, weil sie ihren Bedarf daran nicht richtig einschätzen können (Hulshof & de Jong, 2006; Winters et al., 2008).

Durch die Unterstützungsmaßnahmen reduzierte sich im Vergleich zur Kontrollgruppe auch die verfügbare Lernzeit der Experimentalgruppen um die Zeit, die zum Lesen der eingeblendeten Botschaften gebraucht wurde. Dieses traf am stärksten auf die Feedback-Gruppe zu, da diese am meisten Text eingeblendet bekam. Allerdings machte die gesamte Lesezeit zusammen selten mehr als eine Minute und nie mehr als zwei Minuten aus. Die Vermutung war daher, dass dieser Nachteil durch den Vorteil, der durch die Unterstützung entstehen sollte, mehr als aufgehoben wird. Um für alle Gruppen gleiche Bedingungen zu schaffen, hätte man allerdings die Lernzeit der Experimentalgruppen um die individuelle Lesezeit verlängern können.

Eine Hauptursache, warum auch in dieser Studie die Hilfen nicht so umfassend gewirkt haben wie erwartet, liegt sicherlich in dem Umgang der Lerner mit der Unterstützung (vgl. Veenman & Elshout, 1991; Winters et al., 2008). Häufig wurden die Pop-up-Fenster gleich

nach Erscheinen durch die Schüler geschlossen. Durch die häufige Nutzung des Internets sind es Schüler eventuell schon gewöhnt, Pop-up-Fenster automatisch zu schließen. Eine Möglichkeit wäre, die Botschaften für eine feste Zeitdauer einzublenden und gegebenenfalls zusätzlich zum geschriebenen Text die Hilfen auditiv zu präsentieren. In dieser Studie wurden Schüler ausgeschlossen, die nur weniger als die Hälfte der Hilfen gelesen haben können, erkennbar an der Lesezeit (gemessen zwischen Erscheinen bis Schließen des Pop-up-Fensters mit der Botschaft). Aber auch von den übrig gebliebenen Schülern ist anhand der gespeicherten Lesezeiten erkennbar, dass kaum jemand alle vier Botschaften gelesen hat. Dazu kommt, dass, selbst wenn bezüglich der Zeitdauer ein Lesen möglich gewesen wäre, sich nicht überprüfen lässt, ob die Hilfen tatsächlich gelesen wurden. Insofern haben viele Schüler in unserer Untersuchung die dargebotene Unterstützung nicht in vollem Umfang genutzt. Zwei oder drei gelesene Hilfen können sicherlich nur geringere Effekte nach sich ziehen als die geplanten vier. Eine wichtige Frage ist daher, wie Schüler stärker dazu gebracht werden können, angebotene Hilfen auch zu nutzen und ernsthaft zu beachten. Dieses ist schwierig zu beantworten, zumal die Studie zeigte, dass zumindest die adaptive Unterstützung zwar als hilfreich bewertet wurde (wenn man davon ausgehen kann, dass Schüler hier ehrlich antworteten) und dennoch nicht alle Hilfen genutzt wurden. Vorschläge dazu liefert Bannert (2007). Mit den Lernern sollte danach der Umgang mit der Unterstützung, in diesem Fall Prompts, eingeübt werden. So ließe sich vermeiden, dass die Strategien nach der Intervention nicht spontan genutzt werden. Zudem sollten Lerner vorab nicht nur über das Erscheinen der Unterstützung informiert werden, sondern auch über den Nutzen der darin unterstützten Strategien. Nur dadurch kann erreicht werden, dass der Lerner „die hohen Kosten investieren und die Störungen in Kauf nehmen [wird]“ (S. 124, Bannert, 2007).

11. Zusammenfassende Diskussion

Ausgangspunkte dieser Arbeit waren zum einen die große Bedeutung des Experimentierens für den naturwissenschaftlichen Unterricht (vgl. Kircher & Dittmer, 2004; Klieme et al., 2003; Prenzel & Parchmann, 2003) und zum anderen die Defizite, die bei Schülern in diesem Bereich vorliegen (Baumert et al., 1997; Hucke & Fischer, 2002; Lunetta, 1998; Prenzel & Parchmann, 2003). Dabei erwartet man vor allem vom selbstständigen Experimentieren eine Steigerung der Motivation des Lernalers und seines Verständnisses im Bereich naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung (McDaniel & Schlager, 1990; Minstrell, 2000; Reiser, 2004; Schauble, 1990; Schauble et al., 1991). Deshalb ist es sinnvoll zu erforschen, wie dieser Bereich gefördert werden kann.

Es werden in diesem Kapitel abschließend zunächst der theoretische Teil (Unterkapitel 11.1) und dann der empirische Teil (Unterkapitel 11.2) dieser Arbeit zusammengefasst und diskutiert, bevor in Unterkapitel 11.3 theoretische und praktische Erträge der gesamten Arbeit diskutiert werden.

11.1 Zum theoretischen Teil

Im Theorieteil dieser Arbeit wurde deshalb diese Form des Lernens, das SRL durch Experimentieren, näher betrachtet (vgl. Kapitel 3). Es wurde aufgezeigt, dass Schüler hierbei Probleme und Schwierigkeiten aufweisen und es somit selten zu dem erwünschten Lernerfolg kommt (vgl. Kapitel 4). Deshalb ist es nötig, Lerner durch angemessene Maßnahmen bei ihrem Lernprozess zu unterstützen (Azevedo & Hadwin, 2005; de Jong, 2005; Kirschner et al., 2006; Mayer, 2004; van Joolingen et al., 2007). Aus den Modellen zum SRL lässt sich die besondere Bedeutung der regulativen Prozesse und hierbei insbesondere des Monitorings für einen erfolgreichen Lernprozess ableiten (vgl. Kapitel 2). Allerdings stellt dieses Monitoring hohe Anforderungen an den Lerner. Die theoretische Analyse der Schwierigkeiten und Probleme beim SRL durch Experimentieren ergab, dass diese vor allem im Bereich der regulativen Prozesse liegen und eine fehlende oder unzulängliche Strategienutzung das Hauptproblem beim SRL durch Experimentieren ist (vgl. Kapitel 4). Deshalb ist es sinnvoll, den Lerner beim Monitoring-Prozess zu unterstützen, um auf diesem Weg das SRL zu verbessern. Dabei sollte die Unterstützung auf das Monitoring der Strategienutzung und nicht auf das der Lernprodukte abzielen. Um die Strategienutzung angemessen unterstützen zu können, ist es entscheidend zu wissen,

welche Ursache der nicht gezeigten Strategienutzung zugrunde liegt (vgl. Bannert, 2007). Aus der Literatur ergeben sich hierfür vor allem zwei mögliche Ursachen (vgl. Kapitel 4), erstens ein Defizit im Wissen über die richtigen Strategien (*availability deficiency*) und zweitens ein Defizit im Anwenden dieses Wissens (*production deficiency*) (Hasselhorn, 1995a, 1996; Veenman et al., 2006). Vorherige Studien deuten auf letzteres, ein Produktionsdefizit, hin (Thillmann, 2008; Veenman et al., 2005).

In Kapitel 5 wurden verschiedene Unterstützungsmaßnahmen beschrieben und herausgearbeitet, dass sich Maßnahmen zur Unterstützung des Monitorings vor allem beim Vorliegen eines Produktionsdefizits 1. auf die Anwendung metakognitiven Wissens beziehen, 2. während des Lernens gegeben werden und 3. an das individuell gezeigte Lernverhalten angepasst sein sollten. Mit Letzterem sind Formen adaptiver Unterstützung angesprochen. Der Lerner erhält dabei die Unterstützung, die er braucht, zu dem Zeitpunkt, wann er sie braucht. Besonders fürs SRL durch Experimentieren sollte eine mikro-adaptive Unterstützung, also eine Unterstützung, die sich stetig in kurzen zeitlichen Abständen an veränderte Bedingungen anpasst, effektiv sein (Leutner, 2004). Neben Prompts (vgl. Kapitel 5.3), die adaptiv gestaltet werden können und sich zum Beheben eines Produktionsdefizits eignen sollten (Bannert, 2007; King, 1992; Pressley et al., 1992; Reigeluth & Stein, 1985), wurde in dieser Arbeit besonders Feedback als Unterstützungsmaßnahme hervorgehoben (vgl. Kapitel 5.4). Feedback sollte effektiv sein, da es sowohl über kognitive als auch motivational-emotionale Prozesse wirkt. Es sollte insbesondere den Monitoring-Prozess fördern, da es an dem dort gebildeten internen Feedback ansetzt und somit das Überdenken und Korrigieren des internen Feedbacks möglich wird (Butler & Winne, 1995). Es wurde deutlich, dass eine bestimmte Form von Feedback bisher kaum untersucht wurde, aber effektiv für das SRL durch Experimentieren sein sollte. Dabei handelt es sich um mikro-adaptives Feedback, welches sich nicht auf Lernprodukte, sondern auf die individuell gezeigte Strategienutzung bezieht, also auf den Lernprozess. Neben der Rückmeldung enthält es zusätzlich Informationen für das weitere Vorgehen im Sinne eines informativen tutoriellen Feedbacks (vgl. Narciss, 2004, 2006).

11.2 Zum empirischen Teil

Ziele und Fragestellungen dieser Arbeit waren, den Ansatzpunkt und die Gestaltung angemessener Unterstützungsmaßnahmen herauszuarbeiten, um überprüfen zu können, ob sich SRL durch Experimentieren mit solchen Maßnahmen fördern lässt. Ein Ziel dieser

vorliegenden Arbeit war somit zunächst weitere empirische Hinweise zu finden, die die Vermutung eines Produktionsdefizits bei einer Stichprobe von 8.- und 9.-Klässlern des Gymnasiums im Bereich SRL durch Experimentieren stützen. Dazu müssen sowohl geeignete Maße für die Nutzung von Experimentierstrategien als auch für die Erfassung des Strategiewissens in diesem Bereich vorhanden sein. Es wurden computerbasierte Lernumgebungen genutzt (vgl. Kapitel 7), um daraus logfile-basierte Strategienutzungsmaße abzuleiten. Kapitel 8 beschreibt diese Maße und insbesondere die Weiterentwicklung und Evaluation eines Strategiewissenstests im Bereich Experimentieren. Theoretisch basieren diese strategiebezogenen Maße auf dem im SDDS-Modell von Klahr und Dunbar (1988) beschriebenen strategischen Vorgehen beim Experimentieren (vgl. Kapitel 3).

Studie zur Forschungsfrage 1 (Produktionsdefizit)

Diese strategiebezogenen Maße kamen in der in Kapitel 9 beschriebenen Korrelationsstudie zum Einsatz, um die Frage nach dem Vorliegen eines Produktionsdefizits beantworten zu können. Die Ergebnisse dieser Studie sprachen für das vermutete Vorhandensein eines Produktionsdefizits. Es konnten Zusammenhangsmuster gefunden werden, bei denen die Mehrheit der Schüler ein hohes Strategiewissen kombiniert mit einer niedrigen Strategienutzung aufweist und kaum Schüler ein niedriges Strategiewissen kombiniert mit einer hohen Strategienutzung. Entsprechend waren die Korrelationen, die lineare Zusammenhänge prüfen, entweder nahe null oder gering positiv. Allerdings ist nicht völlig auszuschließen, dass dieses Ergebnis auch Resultat einer mangelnden Güte der strategiebezogenen Maße sein könnte. Dieses wurde bereits am Ende von Kapitel 9 diskutiert. Die Zweifel an der ausreichenden Validität, speziell bei den Strategienutzungsmaßen der Lernumgebung zu „Säuren und Basen“ sind nicht ganz auszuräumen, was entsprechend bei der Interpretation der Ergebnisse aus der experimentellen Studie (Kapitel 10) zu berücksichtigen ist. Dennoch folgte aus der Studie in Kapitel 9 als Konsequenz für die Art der Unterstützung beim SRL durch Experimentieren, dass deren Fokus nicht auf der Vermittlung von Strategiewissen liegen muss, sondern auf der Anregung des vorhandenen Strategiewissens, damit dieses auch abgerufen und angewendet wird (vgl. Veenman et al., 2000).

Studie zu Forschungsfrage 2 und 3 (Unterstützung des SRL)

In der experimentellen Studie (Kapitel 10) wurden deshalb als Unterstützungsmaßnahmen mikro-adaptives strategiebezogenes Feedback, neben einer anderen Form adaptiver Unterstützung, nämlich adaptiven Prompts, eingesetzt um ihre Wirksamkeit gegenüber nicht-adaptiven Prompts bzw. keinerlei Unterstützung zu testen. Dabei ging es darum, die Annahmen zu prüfen, dass adaptive Unterstützung lernförderlicher ist als nicht-adaptive Unterstützung und dass Unterstützung mit Feedback lernförderlicher ist als Unterstützung ohne Feedback (für die einzelnen Hypothesen siehe Kapitel 6).

Die experimentelle Studie (Kapitel 10) zeigte, dass adaptive Unterstützung als hilfreicher wahrgenommen wurde als nicht-adaptive Unterstützung. Ein bedeutsamer Vorteil für die Strategienutzung, in diesem Fall die Nutzung des Dreischritts (1) Hypothesen aufstellen, (2) diese in IVK-Experimenten prüfen und (3) eine Schlussfolgerung daraus festhalten, zeigte sich nur für die Gruppe mit adaptivem Feedback, nicht generell bei adaptiven Unterstützungsmaßnahmen. Das Ergebnis, dass die Motivationszunahme nach der Intervention in der Feedback-Gruppe am höchsten war und zwar signifikant höher als in der Gruppe mit nicht-adaptiven Prompts und als in der Gruppe mit adaptiven Prompts, zeigt die positive motivationale Wirkung von Feedback. Dieser motivationale Vorteil könnte auch dazu geführt haben, dass sich das Feedback für die Strategienutzung im Gegensatz zu den anderen Unterstützungsmaßnahmen als lernförderlich zeigte. Denn gerade beim Vorliegen eines Produktionsdefizits ist das benötigte Wissen für die Strategienutzung eigentlich vorhanden. Damit dieses auch angewendet wird, spielen jedoch zusätzlich motivationale Bedingungen eine bedeutsame Rolle (vgl. Hasselhorn, 1992, 1995; Pressley et al., 1987,1989; Thillmann, 2008). Eine weitere Ursache für das Produktionsdefizit können mangelnde metakognitive Fähigkeiten sein (Bannert, 2007; Friedrich & Mandl, 1992; Hasselhorn, 1992; Pressley et al., 1987,1989; Veenman, 1993). Beim Monitoring kommt es häufig zu falschen Selbsteinschätzungen, meist im Sinne einer Überschätzung der eigenen Leistung, und Lerner unterliegen somit oft einer Kompetenzillusion (Chi et al, 1989; Davis, 2003; Jacobs & Dempsey, 1993; Zimmerman, 1998). An dieser Stelle kann externes Feedback durch die objektive Rückmeldung der eigenen Leistung doch noch vorhandene Lücken aufzeigen und so die Selbsteinschätzung korrigieren und verbessern. Dieses können Prompts ohne Rückmeldung nicht so explizit leisten. Während die Motivation und somit der Effekt des Feedbacks auf die Motivation in der experimentellen Studie direkt gemessen werden konnten, konnte die Wirkung auf die Selbsteinschätzung (das interne Feedback) nicht direkt gemessen werden. In weiteren

Studien könnte man versuchen, eine Möglichkeit zu finden, diese Selbsteinschätzung der Lerner zu erfassen, um so überprüfen zu können, inwiefern sie tatsächlich durch externes Feedback beeinflusst wird und sich verbessert. Man könnte beispielsweise die Lerner auffordern aufzuschreiben, wie sie selbst ihre gezeigte Strategienutzung einschätzen, bevor man ihnen externes Feedback gibt.

Transfereffekte

Ein unerwartetes Ergebnis der experimentellen Studie war das Ausbleiben jeglicher erwarteter Effekte im Transfer, bei dem keine Intervention mehr stattfand. Einige Gründe dafür wurden bereits in Kapitel 10.4 diskutiert. Wenn die motivationale Wirkung der Unterstützungsmaßnahmen den entscheidenden Einfluss auf die Lernförderlichkeit ausübt, könnten diese fehlenden Effekte allerdings erklärbar sein. Durch die fehlende Unterstützung beziehungsweise das fehlende Feedback bei der Transfer-Testung fehlte nun möglicherweise die Motivation bei den Schülern, die eigentlich bekannten Strategien auch anzuwenden. Vielmehr könnte das gänzliche Fehlen von Unterstützung einen motivationalen Nachteil mit sich gebracht haben (vgl. Unterkapitel 10.4). Ein Ansatz, der bereits unter 10.4 diskutiert wurde, wäre über geeignetes Ausklingen (*fading*) der Unterstützungsmaßnahmen diesem Motivationsabfall entgegen zu wirken und für nachhaltigere Effekte zu sorgen. Um diesen Ansatz des *fading* erfolgreich umsetzen zu können, bräuchte man noch mehr analoge Lernsituationen sprich Lernumgebungen. In denen könnten die Strategien angewendet und eingeübt werden und dann könnte nach und nach die Unterstützung reduziert werden. Zudem wären Kriterien nötig, die festlegen, in wie vielen Schritten und ab welchem Anteil an strategischem Verhalten die Unterstützung reduziert werden sollte. In weiteren Studien sollte man versuchen, ein optimales *fading* von Feedback zu finden. Da durch das Feedback die Strategienutzung während der Intervention gefördert werden konnte und sich positive motivationale Effekte des Feedbacks zeigten, ist es durchaus angemessen, zu vermuten, dass sich bei einer längeren Förderungsdauer mit entsprechendem *fading* stärkere Effekte zeigen, die sich mittel- bis langfristig auch im Transfer und auf einen verbesserten Lernzuwachs auswirken sollten.

Follow-up-Messungen

Nur durch das Sicherstellen von langfristigen und generalisierenden Effekten, geprüft durch Follow-up-Messungen und Transfer-Testungen, kann eine Intervention umfassend als förderlich und nützlich beurteilt werden. Leider werden Follow-up-Studien immer noch

zu selten umgesetzt (vgl. Hager & Hasselhorn, 2000). Das Design der experimentellen Studie in dieser Arbeit umfasste keine Follow-up-Messung für das inhaltliche Wissen. Es zeigten sich wie erwartet bereits in der Post-Messung allerdings nur Effekte im Bereich Strategienutzung und nicht im inhaltlichen Wissenserwerb. Die Gründe hierfür liegen darin, dass es sich um strategische, nicht um inhaltliche Unterstützung handelte und es vermutlich einer längeren Interventionsdauer bedarf, damit sich eine verbesserte Strategienutzung auch im verbesserten inhaltlichen Wissenserwerb ausdrückt (vgl. Diskussion zu Kapitel 10). Es ist auf der anderen Seite nicht auszuschließen, dass, obwohl sich das inhaltliche Wissen direkt nach der Intervention nicht zwischen den Gruppen unterschied, sich Unterschiede im längerfristigen Behalten dieses inhaltlichen Wissens gezeigt hätten (vgl. Leopold, den Elzen-Rump & Leutner, 2006). In weiteren Studien sollte man diese Möglichkeit überprüfen, indem zum Follow-up-Zeitpunkt auch das inhaltsbezogene Wissen der zum ersten Messzeitpunkt eingesetzten Lernumgebung getestet wird.

Die Strategienutzung wurde beim Follow-up in einem anderen (chemischen) Inhaltsbereich erfasst, da es gleichzeitig um die Überprüfung von Transfereffekten ging. Durch diesen anderen Inhaltsbereich war allerdings die Strategienutzung nicht ‚eins zu eins‘ übertragbar. Es wurde versucht für die Transfer-Lernumgebung einen Inhalt (Säuren und Basen) mit ähnlichen zugrunde liegenden Relationsarten, die entsprechend die gleichen Strategien erfordern, zu finden. Es zeigte sich bei der Evaluation dieser Lernumgebung allerdings, dass hier für einen erfolgreichen Wissenserwerb auch andere Strategien relevant zu sein schienen und die erfasste Strategienutzung nicht im vergleichbaren Ausmaß wie bei der Physikumgebung mit dem Lernerfolg zusammenhing (vgl. Diskussionen in den Kapiteln 9.4, 10.4 und Gößling, 2010).

Weitere zu untersuchende Unterstützungsformen

Die in dieser Arbeit eingesetzte Form strategiebezogenen Feedbacks mit adaptiven Hinweisen (Prompts) zeigte sich motivationsförderlich und lernförderlich bezüglich der Strategienutzung. Allerdings wurde nicht getestet, ob es an der reinen Rückmeldung beim Feedback oder an der Kombination aus Rückmeldung und adaptiven Prompts lag. Es gab zwar eine Gruppe, die nur die adaptiven Prompts erhielt, aber keine Gruppe, die nur die adaptive Rückmeldung ohne Prompts erhielt. Das heißt, es lässt sich nicht mit Sicherheit sagen, ob die eingesetzte Kombination aus Rückmeldung und adaptiven Hinweisen entscheidend ist oder ob auch die Rückmeldung alleine diese Effekte bewirkt hätte. Die

adaptiven Prompts alleine hatten hingegen nicht die Wirkung wie das eingesetzte Feedback. Rein deskriptiv war diese Gruppe meist der Gruppe mit nicht-adaptiven Prompts und der Kontrollgruppe überlegen. Man könnte dieses mit Vorsicht als Hinweis darauf werten, dass auch die adaptiven Prompts leichte Vorteile bringen, aber möglicherweise erst die Kombination mit der Rückmeldung dazu führte, dass solche möglichen kleinen Vorteile verstärkt und somit bedeutsam wurden. Man kann zudem laut bisherigen Ergebnissen aus der Feedback-Forschung davon ausgehen, dass die reine Rückmeldung vermutlich weniger effektiv sein sollte als die elaborierte Form des Feedbacks mit den adaptiven Prompts (vgl. Kapitel 5.3). In weiteren Studien sollte man aber das hier eingesetzte Feedback mit adaptiven Prompts gegen ein Feedback testen, das keine adaptiven Prompts als informativen Zusatz enthält, sondern nur die adaptive Rückmeldung. Des Weiteren könnte man empirisch prüfen, ob beim eingesetzten Feedback die Prompts adaptiv sein müssen oder ob auch Feedback mit nicht-adaptiven Hinweisen ähnlich erfolgreich unterstützen kann. Hier würde man aufgrund der gefundenen deskriptiven Unterschiede zwischen der Gruppe mit adaptiven Prompts und der Gruppe mit nicht-adaptiven Prompts einen Vorteil für die Kombination mit adaptiven Prompts vermuten.

11. 3 Theoretische und praktische Erträge der Arbeit

Theoretische Implikationen

In dieser Arbeit wurden die Forschungsbereiche zu Feedback und zum SRL miteinander verknüpft, wovon beide Forschungsrichtungen profitieren können. Im Theorieteil wurde erarbeitet, wie Erkenntnisse aus der Feedback-Forschung nutzbar gemacht werden können, um SRL durch Experimentieren zu unterstützen. Entscheidend hierfür war die theoretische Analyse der Anforderungen und Probleme des SRL durch Experimentieren. Wozu auch die Diagnose der Ursachen gehört, um herauszuarbeiten, wie und wo Unterstützung ansetzen sollte. Es wurde aufgezeigt, dass externes Feedback als Unterstützung theoretisch gut mit Modellen des SRL vereinbar ist. Dieser theoretisch gut begründbare Zusammenhang ist aber bisher wenig in empirischen Studien untersucht worden. Diese Arbeit setzt an diesem Forschungsdefizit an. Aus den Befunden der Feedback-Forschung wurde ermittelt, welche Form von Feedback für diese Art des Lernens am effektivsten sein sollte. Gerade bei komplexen Aufgaben, wie beispielsweise SRL durch Experimentieren, bei denen wenig Vorwissen vorliegt und es nicht um reine Wiedergabeleistung geht, sind stärker elaborierte

Feedback-Formen angebracht (Bangert-Drowns et al., 1991; Moreno, 2004; Moreno & Mayer, 2004; Narciss, 2006).

Dabei unterstützen die in dieser Arbeit gefundenen Ergebnisse, nämlich dass die mit Feedback unterstützte Gruppe die beste Strategienutzung zeigte, den theoretisch postulierten Einfluss von externem Feedback auf den Monitoring-Prozess und insofern auf das SRL. Die Ergebnisse stehen folglich im Einklang mit dem von Butler und Winne (1995) formulierten theoretischen Ansatz zum Zusammenhang von Feedback und SRL. Des Weiteren heben die gefundenen Ergebnisse die Bedeutung der motivationalen Wirkung von Feedback hervor (vgl. Hattie & Timperley, 2007; Narciss, 2006; Tuckman & Sexton, 1992; Vollmeyer & Rheinberg, 2005). Die hier eingesetzte Form des Feedbacks besaß Aspekte, die nach der Feedback-Forschung besonders positiv für die Lernmotivation und die Selbstwirksamkeit sind. Das sind eine individuelle Bezugsnorm (z.B. Chan & Lam, 2010; Krampen, 1987) und das Bereitstellen von strategischen Informationen (vgl. Narciss, 2006). Nach Narciss hat gerade informatives tutorielles Feedback, also eine Form elaborierten Feedbacks, wie sie hier eingesetzt wurde, einen positiven Einfluss auf das Kompetenzerleben und bietet die Gelegenheit intern attribuierbare Lernerfolge zu erleben. Das Ergebnis, dass das hier eingesetzte Feedback die Lerner stärker motivieren konnte als die anderen Unterstützungsformen, steht damit in Einklang. Allein die Adaptivität der Unterstützungsmaßnahmen hatte zwar einen Einfluss darauf, wie hilfreich die Unterstützung wahrgenommen wurde, konnte aber die Motivation nicht erhöhen beziehungsweise aufrechterhalten.

Des Weiteren sprechen die gefundenen Ergebnisse für die theoretische Annahme, dass motivationale Faktoren und mangelnde metakognitive Fähigkeiten Ursachen für das Vorliegen eines Produktionsdefizits sind (vgl. Bannert, 2007; Hasselhorn, 1992; Pressley et al., 1987, 1989; Veenman, 1993). Denn nur das Feedback, welches positive motivationale Effekte zeigte und korrigierend auf die Selbsteinschätzung wirken konnte, verbesserte die Strategienutzung signifikant.

Praktische Implikationen

Neben diesen theoretischen Erträgen dieser Arbeit ergeben sich auch praktische Erträge. Zum einen konnte gezeigt werden, dass es nicht nur davon abhängt, dass SRL durch Experimentieren unterstützt wird, sondern auch wodurch es unterstützt wird. An das strategische Verhalten angepasstes Feedback scheint eine Form von Unterstützung zu sein, die das SRL durch Experimentieren verbessern kann. Es sollte entsprechend im

außerschulischen und schulischen Lernen zur Förderung eingesetzt werden. Eine große Bedeutung bei der Wirksamkeit von Unterstützungsmaßnahmen liegt zudem darin sicherzustellen, dass die Unterstützung auch von den Lernern benutzt wird. So zeigte die experimentelle Studie (Kapitel 10) durch die Analyse der Lesezeiten, dass viele Lerner die Unterstützungsmaßnahmen nicht gelesen haben konnten; die Unterstützung konnte hier also keinen positiven Einfluss genommen haben. Es konnte aber nicht mit Sicherheit festgestellt werden, wer die Unterstützungsmaßnahmen ernsthaft gelesen und verarbeitet hat, denn ausreichende Lesezeiten sagen nichts darüber aus, ob in der Zeit tatsächlich gelesen worden ist. Hier könnten *eye-tracking*-Verfahren (vgl. Gollücke, 2009; Jacob & Karn, 2003) möglicherweise eine validere Auskunft geben. Entscheidend für weitere Studien und für den Einsatz von Unterstützungsmaßnahmen in der Praxis ist es, den Lernern deutlich zu machen, warum es sinnvoll und hilfreich ist, die Unterstützung zu nutzen und die dort genannten Strategien umzusetzen (vgl. Kapitel 10.4). Dann könnte man vermutlich eine stärkere Wirksamkeit von Unterstützungsmaßnahmen feststellen. Die Unterstützung adaptiv zu gestalten, damit sie als hilfreich wahrgenommen wird, und den Lernern eine Rückmeldung zu ihrem Verhalten zu geben als Begründung, warum sie diese oder jene Strategie einsetzen sollten, sind dabei wertvolle Ansätze. Sie sollten noch weiter erforscht und ausgebaut werden. Lernern könnte beispielsweise zusätzlich in einer Lehreinheit vor dem SRL der Nutzen der Strategien stärker vermittelt werden, zudem sollte ihnen die Unterstützung als gute Möglichkeit, die eigene Strategienutzung zu verbessern, nahe gebracht werden.

Diese Arbeit leistet nicht zuletzt einen Beitrag zur Weiterentwicklung, wie computerbasierte Lernumgebungen genutzt werden können, um Unterstützungsmaßnahmen zu implementieren. Bei Azevedo und Hadwin (2005) heißt es: „Several technical challenges exist in developing dynamic adaptive computer-based scaffolds that dynamically modify scaffolding methods to knowledge and SRL sophistication.” (S. 376). Dieses sollte aber nicht dazu führen, dass auf adaptive computerbasierte Unterstützungsmaßnahmen zu Gunsten statischer Hilfen verzichtet werden muss. So konnte diese Arbeit zeigen, dass durch computerbasiertes Lernen eine mikro-adaptive Unterstützung umsetzbar ist und nicht an einen menschlichen Tutor gebunden ist. Dieses bietet den großen Vorteil, dass viele Lerner gleichzeitig selbstständig mit den Lernumgebungen arbeiten können und dabei durch das Programm adaptiv unterstützt werden können.

12. Literaturverzeichnis

- Artelt, C. (1999). Lernstrategien und Lernerfolg - Eine handlungsnahe Studie. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 31, 86-96.
- Artelt, C. (2000). *Strategisches Lernen*. Münster: Waxmann.
- Artelt, C. & Schellhas, B. (1996). Zum Verhältnis von Strategiewissen und Strategieanwendung und ihren kognitiven und emotional-motivationalen Bedingungen im Schulalter. *Empirische Pädagogik*, 10, 277-305.
- Ashford, S.J. & Cummings, L.L. (1983). Feedback as an individual resource: Personal strategies of creating information. *Organizational Behavior and Human Performance*, 32, 370-398.
- Atkinson, R.K., Renkl, A. & Merrill, M.M. (2003). Transitioning from studying examples to solving problems: Effects of self-explanation prompts and fading worked-out steps. *Journal of Educational Psychology*, 95, 774-783.
- Azevedo, R. (2005). Using hypermedia as a metacognitive tool for enhancing student learning? The role of self-regulated learning. *Educational Psychologist*, 40, 199-209.
- Azevedo, R. & Bernard, R.M. (1995). A meta-analysis of the effects of feedback in computer-based instruction. *Journal of Educational Computing Research*, 13, 111-127.
- Azevedo, R., Cromley, J.G. & Seibert, D. (2004a). Does adaptive scaffolding facilitate students' ability to regulate their learning with hypermedia? *Contemporary Educational Psychology*, 29, 344-370.
- Azevedo, R., Guthrie, J.T., & Seibert, D. (2004b). The role of self-regulated learning in fostering students' conceptual understanding of complex systems with hypermedia. *Journal of Educational Computing Research*, 30, 87-111.
- Azevedo, R. & Hadwin, A.F. (2005). Scaffolding self-regulated learning and metacognition - Implications for design of computer-based scaffolds. *Instructional Science*, 33, 367-379.
- Baddeley, A.D. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556-559.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Bangert-Drowns, R.L., Kulik, J.A. & Kulik, C.C. (1985). Effectiveness of computer-based education in secondary schools. *Journal of Computer-Based Instruction*, 12, 59-68.

- Bangert-Drowns, R.L., Kulik, C.C., Kulik, J.A. & Morgan, M.T. (1991). The instructional effect of feedback in test-like events. *Review of Educational Research*, 61, 213-238.
- Bannert, M. (2003). Effekte metakognitiver Lernhilfen auf den Wissenserwerb in vernetzten Lernumgebungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 13-25.
- Bannert, M. (2007). *Metakognition beim Lernen mit Hypermedien*. Münster: Waxmann.
- Baumert, J. (1993). Lernstrategien, motivationale Orientierung und Selbstwirksamkeitsüberzeugungen im Kontext schulischen Lernens. *Unterrichtswissenschaft*, 4, 327-354.
- Baumert, J., Lehmann, R., Lehrke, M., Schmitz, B., Clausen, M., Hosenfeld, I., Köller, O. & Neubrand, J. (1997). *TIMSS - Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich. Deskriptive Befunde*. Opladen: Leske und Budrich.
- Baumert, J., Roeder, P.M., Sang, F. & Schmitz, B. (1986). Leistungsentwicklung und Ausgleich von Leistungsunterschieden in Gymnasialklassen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 32, 639-660.
- Bell, B.S. & Kozlowski, S.W.J. (2002). Adaptive guidance: Enhancing self-regulation, knowledge, and performance in technology-based training. *Personnel Psychology*, 55, 267-306.
- Beradi-Coletta, B., Buyer, L.S., Dominowski, R.L. & Rellinger, E.R. (1995). Metacognition and problem solving: A process-oriented approach. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 205-223.
- Berthold, K., Nückles, M. & Renkl, A. (2007). Do learning protocols support learning strategies and outcomes? The role of cognitive and metacognitive prompts. *Learning and Instruction*, 17, 564-577.
- Boekaerts, M. (1997). Self-regulated learning: A new concept embraced by researchers, policy makers, educators, teachers, and students. *Learning and Instruction*, 7, 161-186.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: Where are we today. *International Journal of Educational Research*, 31, 445-457.
- Bolton, S. (1985). *Die Gütebestimmung kommunikativer Tests*. Tübingen: Narr.
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- Bransford, J.D., Brown, A.L. & Cocking, R.R. (Eds.). (2000). *How people learn: Brain, mind, experience and school* (expanded ed.). Washington, DC: National Academic Press.

- Brown, A.L. (1978). Knowing when, where, and how to remember: A problem of metacognition. In R. Glaser (Ed.), *Advances in Instructional Psychology* (Vol. 1, pp. 77-265). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Brown, A.L. (1984). Metakognition, Handlungskontrolle, Selbststeuerung und andere, noch geheimnisvollere Mechanismen. In F.E. Weinert & R.H. Kluwe (Hrsg.), *Metakognition, Motivation und Lernen* (S.60-109). Stuttgart: Kohlhammer.
- Brown, A.L. & Campione, J.C. (1994). Guided discovery in a community of learners. In K. McGilly (Ed.), *Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice* (pp. 229-270). Cambridge, MA: MIT press.
- Brown, A.L. & DeLoache, J.S. (1978). Skills, plans, and self-regulation. In R.S. Siegel (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 3-35). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Bullock, M. & Sodian, B. (2003). Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens. In W. Schneider & M. Knopf (Hrsg.), *Entwicklung, Lehren und Lernen* (S. 75-92). Göttingen: Hogrefe.
- Butler, D. L. & Winne, P. H. (1995). Feedback and self-regulated learning: A theoretical synthesis. *Review of Educational Research*, 65, 245-281.
- Carlson, R.A., Lundy, D.H. & Schneider, W. (1992). Strategy guidance and memory aiding in learning a problem-solving skill. *Human Factors*, 34, 129-145.
- Chan, J.C.Y. & Lam, S. (2010). Effects of different evaluative feedback on students' self-efficacy in learning. *Instructional Science*, 38, 37-58.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- Chen, Z. & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variable strategy. *Child Development*, 70, 1098-1120.
- Chi, M.T.H., Bassok, M., Lewis, M.W., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145-182.
- Chi, M.T.H., De Leeuw, N., Chiu, M.H., & LaVancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439-477.
- Chin, C.A. & Brewer, W.F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-51.

- Corno, L. (1989). Self-regulated learning: A volitional analysis. In B.J. Zimmermann & D.H. Schunk (Eds.), *Self-regulated learning and academic achievement. Theory, research and practice* (pp. 111-141). New York: Springer.
- Corno, L. & Snow, R.E. (1986). Adapting teaching to individual differences among learners. In M.C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (3rd ed., pp. 605-629). New York: Macmillan.
- Dansereau, D.F. (1985). Learning strategy research. In J.W. Segal, S.F. Chipman & R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills* (Vol.1, pp. 209-239). London: Croom Helm.
- Dansereau, D.F., Collins, K.W., McDonald, B.A. Holley, C.D., Garland, J., Diekhoff, G. & Evans, S.H. (1979). Development and evaluation of a learning strategy training program. *Journal of Educational Psychology*, 71, 64-73.
- Davis, E.A. (2003). Prompting middle school science students for productive reflection: Generic and directed prompts. *The Journal of the Learning Sciences*, 12, 91-142.
- Davis, E.A., & Linn, M.C. (2000). Scaffolding students' knowledge integration: Prompts for reflection in KIE. *International Journal of Science Education*, 22, 819-837.
- de Jong, T. (2005). The guided discovery principle in multimedia learning. In R.E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 215-228). Cambridge, Cambridge University Press.
- de Jong, T. (2006). Scaffolds for computer simulation based scientific discovery learning. In J. Elen & R.E. Clark (Eds.), *Dealing with complexity in learning environments* (pp. 107-128). London: Elsevier Science Publishers.
- de Jong, T., Martin, E., Zamarro, J.-M., Esquembre, F., Swaak, J. & van Joolingen, W.R. (1999). The integration of computer simulation and learning support: An example from the physics domain of collisions. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 597-615.
- de Jong, T. & Njoo, M. (1992). Learning and instruction with computer simulation: Learning processes involved. In E. de Corte, M. Linn, H. Mandl & L. Verschaffel (Eds.), *Computer-based learning environments and problem solving* (pp. 9-27). Berlin: Springer-Verlag.
- de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1995). The SMISLE environment: Learning with and design of integrated simulation learning environments. In P. Held & W.F. Kugemann (Eds.) *Telematics for education and training* (pp. 173-187). IOS Press: Amsterdam.

- de Jong, T. & van Joolingen, W.R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68, 179-201.
- de Jong, T., van Joolingen, W., Swaak, J., Veermans, K., Limbach, R., King, S. & Gureghian, D. (1998). Self-directed learning in simulation-based discovery environments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 14, 235-246.
- Dempsey, J.V., Driscoll, M.P. & Swindell, L.K. (1993). Text-based feedback. In J.V. Dempsey & G.O. Sales (Eds.), *Interactive instruction and feedback* (pp. 21-54). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
- Dempsey, J.V. & Sales, G.O. (Eds.) (1993). *Interactive instruction and feedback*. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
- Dunbar, K. (1993). Concept discovery in a scientific domain. *Cognitive Science*, 17, 397-434.
- Ericsson, K.A. & Simon, H.A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, 87, 215-251.
- Ertmer, P.A., & Newby, T.J. (1996). The expert learner: Strategic, self-regulated, and reflective. *Instructional Science*, 24, 1-24.
- Fischer, H.E., Schecker, H. & Wiesner, H. (2004). Kerncurriculum Physik. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 57, 147-154.
- Flavell, J.H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L.B. Resnick (Ed.), *The nature of intelligence* (pp. 231-235). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Friedrich, H.F. (1992). Die Vermittlung von reduktiven Textverarbeitungsstrategien durch Selbstinstruktion. In H. Mandl & H.F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien. Analyse und Intervention* (S. 193-212). Göttingen: Hogrefe.
- Friedrich, H.F. (1995). *Training und Transfer reduktiv-organisierender Strategien für das Lernen mit Texten*. Münster: Aschendorff.
- Friedrich, H.F. & Mandl, H. (1992). Lern- und Denkstrategien - ein Problemaufriß. In H. Mandl & H.F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien. Analyse und Intervention* (S. 3-54). Göttingen: Hogrefe.
- Friedrich, H.F. & Mandl, H. (1997). Analyse und Förderung selbstgesteuerten Lernens. In F.E. Weinert & H. Mandl (Hrsg.), *Psychologie der Erwachsenenbildung* (Vol. 4, S. 237-295). Göttingen: Hogrefe.
- Friedrich, H.F. & Mandl, H. (2006). Lernstrategien: Zur Strukturierung des Forschungsfeldes. In H. Mandl & H.F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 1-23). Göttingen: Hogrefe.

- Gerjets, P.H., Scheiter, K. & Schuh, J. (2005). Instruktionale Unterstützung beim Fertigkeitserwerb aus Beispielen in hypertext-basierten Lernumgebungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 19, 23-38.
- Gollücke, V. (2009). *Eye-Tracking – Grundlagen, Technologien und Anwendungsgebiete*. Norderstedt: Grin Verlag.
- Gößling, J. (2010). *Selbstständig entdeckendes Experimentieren – Lernwirksamkeit der Strategieranwendung*. Unveröffentlichte Dissertation, Universität Duisburg-Essen.
- Götz, T. (2006). *Selbstreguliertes Lernen. Förderung metakognitiver Kompetenzen im Unterricht der Sekundarstufe*. Donauwörth: Auer Verlag GmbH.
- Hadwin, A.F., & Winne, P.H. (2001). CoNoteS: A software tool for promoting self-regulated learning in networked collaborative learning environment [Special issue]. *Evaluation Research in Education*, 7, 313-334.
- Hager, W. & Hasselhorn, M. (2000). Psychologische Interventionsmaßnahmen: Was sollen sie bewirken können? In W. Hager, J.-L. Patry & H. Brenzing (Hrsg.), *Evaluation psychologischer Interventionsprogramme: Standards und Kriterien* (S. 41-85). Bern: Huber.
- Haller, E.P., Child, D.A. & Walberg, H.J. (1988). Can comprehension be taught? A quantitative synthesis of “metacognitive” studies. *Educational Researcher*, 17, 5-8.
- Hannafin, M.J., McDermott Hannafin, K. & Dalton, D.W. (1993). Feedback and emerging instructional technologies. In J.V. Dempsey & G.O. Sales (Eds.), *Interactive instruction and feedback* (pp. 263-286). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
- Hartinger, A. & Fölling-Albers, M. (2002). *Schüler motivieren und interessieren. Ergebnisse aus der Forschung. Anregungen für die Praxis*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hasselhorn, M. (1992). Metakognition und Lernen. In G. Nold (Hrsg.), *Lernbedingungen und Lernstrategien. Welche Rolle spielen kognitive Verstehensstrukturen?* (S. 35-63). Tübingen: Narr.
- Hasselhorn, M. (1995a). Kognitive Trainings: Grundlagen, Begrifflichkeiten und Desiderate. In W. Hager (Hrsg.), *Programme zur Förderung des Denkens bei Kindern. Konstruktion, Evaluation und Metaevaluation* (S. 41-85). Göttingen: Hogrefe.
- Hasselhorn, M. (1995b). Individuelle Differenzen im Bereich des Lernens und des Gedächtnisses. In M. Amelang (Hrsg.), *Verhaltens- und Leistungsunterschiede*

- (Enzyklopädie der Psychologie, Serie Differentielle Psychologie und Persönlichkeitspsychologie, Bd. 2, S. 435-468). Göttingen: Hogrefe.
- Hasselhorn, M. (1996). *Kategoriales Organisieren bei Kindern. Zur Entwicklung einer Gedächtnisstrategie*. Göttingen: Hogrefe.
- Hattie, J. & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77, 81-112.
- Heller, K.A.; Gaedicke, A.K. & Weinländer, H. (1985). *Kognitiver Fähigkeitstest KFT 4-12+*. Weinheim: Beltz.
- Heller, K.A. & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision. Manual*. Göttingen: Beltz.
- Hofer, B.K., Yu, S.L. & Pintrich, P.R. (1998). Teaching college students to be self-regulated learners. In D.H. Schunk & B.J. Zimmerman (Eds.), *Self-regulated learning - From teaching to self-reflective practice* (pp. 57-85). New York: The Guilford Press.
- Hogan, K. & Pressley, M. (1997). *Scaffolding student learning: Instructional approaches and issues*. Cambridge, MA: Brookline Books.
- Hoska, D.M. (1993). Motivating learners through CBI feedback: Developing a positive learner perspective. In J.V. Dempsey & G.C. Sales (Eds.), *Interactive instruction and feedback* (pp. 105-132). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology.
- Hucke, L. & Fischer, H.E. (2002). The link of theory and practice in traditional and in computer-based university laboratory experiments. In D. Psillos & H. Niedderer (Eds.), *Teaching and learning in the science laboratory – A look on the European Projekt “Labwork in Science Education”* (pp.205-218). Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Hulshof, C.D. & de Jong, T. (2006). Using just-in-time information to support scientific discovery learning in a computer-based simulation. *Interactive Learning Environments*, 14, 79-94.
- Jacob, R.J.K. & Karn, K.S. (2003). Eye tracking in human-computer interaction and usability research. In J. Hyönlä, R. Radach & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye*. Amsterdam: Elsevier.
- Jacobs, J.W. & Dempsey, J.V. (1993). Simulation and gaming: Fidelity, Feedback, and Motivation. In J.V. Dempsey & G.O. Sales (Eds.), *Interactive instruction and feedback* (pp. 197-228). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.

- King, A. (1992). Comparison of self-questioning, summarizing, and note-taking-review as strategies for learning from lectures. *American Educational Research Journal*, 29, 303-323.
- King, A. (1994). Guiding knowledge construction in the classroom: effects of teaching children how to question and how to explain. *American Educational Research Journal*, 31, 338-368.
- Kircher, E. & Dittmer, A. (2004). Lehren und lernen über die Natur der Naturwissenschaften - ein Überblick. In C. Hößle, D. Höttecke & E. Kircher (Hrsg.). *Lehren und Lernen über die Natur der Naturwissenschaften* (S. 2 – 22). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Kirschner, P.A., Sweller, J. & Clark, R.E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41, 75-86.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- Klahr, D., Fay, A.L. & Dunbar, K. (1993). Heuristics for scientific experimentation: A developmental study. *Cognitive Psychology*, 25, 111-146.
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science*, 15, 661-667
- Klahr, D. & Simon, H.A. (1999). Studies of scientific discovery: Complementary approaches and convergent findings. *Psychological Bulletin*, 125, 524-543.
- Klauer, K.J. (1987). *Kriteriumsorientierte Tests*. Göttingen: Hogrefe.
- Klauer, K.J. (1988). Teaching for learning-to-learn: A critical appraisal with some proposals. *Instructional Science*, 17, 351-367.
- Klieme, E., Avenarius, H., Blum, W., Döbrich, P., Gruber, H., Prenzel, M., Reis, K., Riquarts, K., Rost, J., Tenorth, H.-E. & Vollmer, H.J. (Hrsg.) (2003). *Expertise zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards*. Berlin: BMBF.
- Kluger, A. N. & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: a historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin*, 119, 254-284.

- Koedinger, K.R. & Aleven, V. (2007). Exploring the assistance dilemma in experiments with cognitive tutors. *Educational Psychology Review*, 19, 239-264.
- Krajcik, J., Blumenfeld, P.C., Marx, R.W., Bass, K.M., Fredericks, J. & Soloway, E. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7, 313-350.
- Krampen, G. (1987). Differential effects of teacher comments. *Journal of Educational Psychology*, 79, 137-146.
- Krapp, A. (1993). Lernstrategien: Konzepte, Methoden und Befunde. *Unterrichtswissenschaft*, 21, 291-311.
- Krause, U.-M., Stark, R. & Mandl, H. (2004). Förderung des computerbasierten Wissenserwerbs durch kooperatives Lernen und eine Feedbackmaßnahme. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 18, 125-136.
- Kröner, S. (2001). *Intelligenzdiagnostik per Computersimulation*. Münster: Waxmann.
- Kröner, S., Dörre, P. & Leutner, D. (2000). Praxisbezug und Feedback-Informationsgehalt in einem berufsbezogenen computer-basierten Training zum Qualitätsmanagement. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 44, 19-26.
- Kröner, S., Plass, J.L. & Leutner, D. (2005). Intelligence assessment with computer simulations. *Intelligence*, 33, 347-368.
- Künsting, J. (2007). *Effekte von Zielqualität und Zielspezifität auf selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren* (Dissertationsschrift). Universität Duisburg-Essen, Fachbereich Bildungswissenschaften, Essen.
- Künsting, J., Thillmann, H., Wirth, J., Fischer, H. & Leutner, D. (2008). Computerbasierte Diagnose von Strategien des Experimentierens im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 55, 1-15.
- Kuhn, D., Black, J., Keselman, A. & Kaplan, D. (2000). The development of cognitive skills to support inquiry learning. *Cognition and Instruction*, 18, 495-523.
- Kulhavy, R.W. & Stock, W.A. (1989). Feedback in written instruction: The place of response certitude. *Educational Psychological Review*, 1, 279-308.
- Kulhavy, R. W. & Wager, W. (1993). Feedback in programmed instruction: Historical context and implications for practice. In J.V. Dempsey & G.O. Sales (Eds.), *Interactive Instruction and feedback* (pp. 3-20). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.

- Kulik, J.A. & Kulik, C.C. (1988). Timing of feedback and verbal learning. *Review of Educational Research*, 58, 79-97.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2005a). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*. Neuwied: Luchterhand.
- Kultusministerkonferenz (KMK) (2005b). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*. Neuwied: Luchterhand.
- Lajoie, S.P. & Azevedo, R. (2006). Teaching and learning in technology-rich environments. In P.A. Alexander, & P.H. Winne (Eds.), *Handbook of educational psychology* (2nd ed., pp. 803-821). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Lajoie, S.P. & Derry, S.J. (Eds.). (1993). *Computers as cognitive tools*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lan, W.Y. (1998). Teaching self-monitoring skills in statistics. In D.H. Schunk & B.J. Zimmerman (Eds.), *Self-regulated learning. From teaching to self-reflective practice* (pp. 86-105). New York: Guilford.
- Lan, W.Y., Bradley, L. & Parr, G. (1993). The effects of self-monitoring process on college students' learning in an introductory statistics course. *Journal of Experimental Education*, 62, 26-40.
- Lavoie, D.R. & Good, R. (1988). The nature and use of predictions skills in a biological computer simulation. *Journal of Research in Science Teaching*, 25, 335-360.
- Lazonder, A.W., Wilhelm, P. & Hagemans, M.G. (2008). The influence of domain knowledge on strategy use during simulation-based inquiry learning. *Learning and Instruction*, 18, 580-592.
- Leopold, C., den Elzen-Rump, V. & Leutner, D. (2006). Selbstreguliertes Lernen aus Sachtexten. In M. Prenzel & L. Allolio-Näcke (Hrsg.), *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schule. Abschlussbericht des DFG-Schwerpunktprogramms* (S. 268-288). Münster: Waxmann.
- Leopold, C. & Leutner, D. (2004). Selbstreguliertes Lernen und seine Förderung durch prozessorientiertes Training. In J. Doll & M. Prenzel (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Lehrerprofessionalisierung, Unterrichtsentwicklung und Schülerförderung als Strategien der Qualitätsverbesserung* (S. 364-376). Münster: Waxmann.
- Leutner, D. (1992). *Adaptive Lehrsysteme: instruktionspsychologische Grundlagen und experimentelle Analysen*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.

- Leutner, D. (1993). Guided discovery learning with computer-based simulation games: effects of adaptive and non-adaptive instructional support. *Learning and Instruction*, 3, 113-132.
- Leutner, D. (1997). Adaptivität und Adaptierbarkeit multimedialer Lehr- und Informationssysteme. In L.J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (2. Aufl., S. 139-149). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Leutner, D. (2004). Instructional design principles for adaptivity in open learning environments. In N.M. Seel & S. Dijkstra (Eds.), *Curriculum, plans, and processes in instructional design*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2002). Selbstreguliertes Lernen: Lehr- /Lerntheoretische Grundlagen. In U. Witthaus, W. Wittwer & C. Espe (Hrsg.), *Selbstgesteuertes Lernen – Theoretische und praktische Zugänge* (S. 43-67). Bielefeld: Bertelsmann.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2003). Selbstreguliertes Lernen als Selbstregulation von Lernstrategien. Ein Trainingsexperiment mit Berufstätigen zum Lernen mit Sachtexten. *Unterrichtswissenschaft*, 31, 38-56.
- Leutner, D. & Leopold, C. (2006). Selbstregulation beim Lernen aus Sachtexten. In H. Mandl & H.F. Friedrich, *Handbuch Lernstrategien* (S. 162-171). Göttingen: Hogrefe.
- Lienert, G.A. & Raatz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse*. Weinheim: Beltz PVU.
- Lin, X. & Lehman, J.D. (1999). Supporting learning of variable control in a computer-based biology environment: Effects of prompting college students to reflect on their own thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 837-858.
- Linn, M.C., Bell, P. & Davis, E.A. (2004). Specific design principles: Elaborating the scaffolded knowledge integration framework. In M.C. Linn, E.A. Davis & P. Bell, *Internet environments for science education* (pp. 315-339). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lord, C.G., Ross, L. & Lepper, M.R. (1979). Biased assimilation and attitude polarization: The effects of prior theories on subsequently considered evidence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37, 2098-2109.
- Lunetta, V.N. (1998). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In B.J. Fraser & K.G. Tobin (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 249-268). Dordrecht: Kluwer.

- Mandl, H., Gruber, H. & Renkl, A. (1997). Lernen und Lehren mit dem Computer. In F.E. Weinert & H. Mandl (Hrsg.), *Psychologie der Erwachsenenbildung, D/I/4 Enzyklopädie der Psychologie* (S. 437-467). Göttingen: Hogrefe.
- Manlove, S., Lazonder, A.W. & de Jong, T. (2007). Software scaffolds to promote regulation during scientific inquiry learning. *Metacognition and Learning*, 2, 141-155.
- Mason, B.J. & Bruning, R. (2001). *Providing feedback in computer-based instruction: What research tells us*. Center for Instructional Innovation, University of Nebraska-Lincoln. Retrieved October, 14, 2009, from <http://dwb.unl.edu/Edit/MB/MasonBruning.html>
- Mathan, S.A. & Koedinger, K.R. (2005). Fostering the intelligent novice: Learning from errors with metacognitive tutoring. *Educational Psychologist*, 40, 257-265.
- Mayer, R.E. (1992). *Thinking, problem solving, cognition*. New York: Freeman.
- Mayer, R.E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? *American Psychologist*, 59, 14-19.
- Mayer, R.E., Mautone, P. & Prothero, W. (2002). Pictorial aids for learning by doing in a multimedia geology simulation game. *Journal of Educational Psychology*, 94, 171-185.
- McDaniel, M.A. & Schlager, M.S. (1990). Discovery learning and transfer of problem-solving skills. *Cognition and Instruction*, 7, 129-159.
- Minstrell, J. (2000). Implications for teaching and learning inquiry: A summary. In J. Minstrell & E.H. v. Zee (Eds.), *Inquiring into inquiry learning and teaching in science* (pp. 471-496). Washington, DC: AAAS.
- Moos, D.C. & Azevedo, R. (2008). Monitoring, planning, and self-efficacy during learning with hypermedia: the impact of conceptual scaffolds. *Computers in Human Behavior*, 24, 1686-1706.
- Moreno, R. (2004). Decreasing cognitive load for novice students: Effects of explanatory versus corrective feedback in discovery-based multimedia. *Instructional Science*, 32, 99-113.
- Moreno, R. & Mayer, R.E. (2005). Role of guidance, reflection, and interactivity in an agent-based multimedia game. *Journal of Educational Psychology*, 97, 117-128.
- Mory, E.H. (2004). Feedback research revisited. In D.H. Jonassen (Ed.), *Handbook of research for educational communications and technology* (pp. 745-783). New York: Simon & Schuster Macmillan.

- Musch, J. (1999). Die Gestaltung von Feedback in computergestützten Lernumgebungen: Modelle und Befunde. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 13, 148-160.
- Narciss, S. (2004). The impact of informative tutoring feedback and self-efficacy on motivation and achievement in concept learning. *Experimental Psychology*, 51, 214-228.
- Narciss, S. (2006). *Informatives tutorielles Feedback*. Münster: Waxmann.
- Narciss, S. & Huth, K. (2004). How to design informative tutoring feedback for multimedia learning. In H.M. Niegemann, D. Leutner, R. Brünken (Eds), *Instructional design for multimedia learning* (pp. 181-195). Münster, New York: Waxmann.
- Narciss, S. & Huth, K. (2006). Fostering achievement and motivation with bug-related tutoring feedback. *Learning and Instruction*, 16, 310-322.
- Nickerson, R.S. (1998). Confirmation bias: A ubiquitous phenomenon in many guises. *Review of General Psychology*, 2, 175-220.
- Niegemann, H.M. (2008a). Selbstreguliertes Lernen. In H.M. Niegemann, S. Domagk, S. Hessel, A. Hein, A. Zobel & M. Hupfer, *Kompendium Multimediales Lernen* (S. 65-80). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Niegemann, H.M. (2008b). Feedback. In H.M. Niegemann, S. Domagk, S. Hessel, A. Hein, A. Zobel & M. Hupfer, *Kompendium Multimediales Lernen* (S. 65-80). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Njoo, M. & de Jong, T. (1993). Exploratory learning with a computer simulation for control theory: learning processes and instructional support. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 821-844.
- Oser, F. & Spychiger, M. (2005). *Lernen ist schmerzhaft. Zur Theorie des Negativen Wissens und zur Praxis der Fehlerkultur*. Weinheim: Beltz.
- O'Sullivan, J.T. & Pressley, M. (1984). Completeness of instruction and strategy transfer. *Journal of Experimental Child Psychology*, 38, 275-288.
- Paris, S.G., Lipson, M.Y. & Wixon, K.K. (1983). Becoming a strategic reader. *Contemporary Educational Psychology*, 8, 293-316.
- Perkins, D. (1998). What is understanding? In M.S. Wiske (Ed.), *Teaching for understanding: Linking research with practice* (pp. 39-58). San Francisco: Jossey-Bass.
- Pintrich, P.R. (1989). The dynamic interplay of student motivation and cognition in the college classroom. *Advances in Motivation and Achievement*, 6, 117-160.

- Pintrich, P.R. (1999). The role of motivation in promoting and sustaining self-regulated learning. *International Journal of Educational Research*, 31, 459-470.
- Pintrich, P.R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In M. Boekaerts, P.R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 451-502). San Diego, CA: Academic Press.
- Pintrich, P.R. & De Groot, E.V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82, 33-40.
- Pintrich, P.R. & Garcia, T. (1993). Intraindividual differences in students' motivation and self-regulated learning. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 7, 99-107.
- Pintrich, P.R. & Garcia, T. (1994). Self-regulated learning in college students: Knowledge, strategies and motivation. In P.R. Pintrich, D.R. Brown & C.E. Weinstein (Eds.), *Student motivation, cognition, and learning* (pp. 113-133). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Pintrich, P.R., Smith, D.A.F., Garcia, T. & McKeachie, W.J. (1991). *A manual for the use of the motivated strategies for learning questionnaire (MSLQ)*. Ann Arbor: NCRIPTAL, University of Michigan.
- Prenzel, M. & Parchmann, I. (2003). Kompetenz entwickeln. Vom naturwissenschaftlichen Arbeiten zum naturwissenschaftlichen Denken. *Naturwissenschaften im Unterricht: Chemie*, 14 (76/77), S. 15-19.
- Pressley, M. (1995). What is intellectual development about in the 1990s? Good information processing. In F.E. Weinert & W. Schneider (Eds.), *Memory performance and competencies. Issues in growth and development* (pp. 375-404). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Pressley, M., Borkowski, J.G. & O'Sullivan, J.T. (1984). Memory strategy instruction is made of this: Metamemory and durable strategy use. *Educational Psychologist*, 19, 84-107.
- Pressley, M., Borkowski, J.G. & Schneider, W. (1987). Cognitive strategies: Good strategy users coordinate metacognition and knowledge. In R. Vasta & G. Whilehurst (Eds.), *Annals of child development* (Vol. 4, pp. 80-129). Greenwich, CT: JAI Press.
- Pressley, M., Borkowski, J.G. & Schneider, W. (1989). Good information processing: What it is and how education can promote it. *International Journal of Educational Research*, 13, 857-867.

- Pressley, M., Wood, E., Woloshyn, V.E., Martin, V., King, A. & Menke, D. (1992). Encouraging mindful use of prior knowledge: attempting to construct explanatory answers facilitates learning. *Educational Psychologist*, 27, 91-109.
- Pridemore, D.R. & Klein, J.D. (1991). Control of feedback in computer-assisted instruction. *Educational Technology Research and Development*, 39 (4), 27-32.
- Pridemore, D.R. & Klein, J.D. (1995). Control of practice and level of feedback in computer-assisted instruction. *Contemporary Educational Psychology*, 20, 444-450.
- Puntambekar, S. & du Boulay, B. (1997). Design and development of MIST - A system to help students develop metacognition. *Journal of Educational Computing Research*, 16, 1-35.
- Puntambekar, S. & Hübscher, R. (2005). Tools for scaffolding students in a complex learning environment: What have we gained and what have we missed? *Educational Psychologist*, 40, 1-12.
- Putz-Osterloh, W. (1993). Strategies for knowledge acquisition and transfer of knowledge in dynamic tasks. In G. Strube & K.-F. Wender (Eds.), *The cognitive psychology of knowledge* (pp. 331-350). Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Quinn, J. & Alessi, S. (1994). The effects of simulation complexity and hypothesis generation strategy on learning. *Journal of Research on Computing in Education*, 27, 75-91.
- Quintana, C., Reiser, B.J., Davis, E.A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R.G., Kyza, E., Edelson, D. & Soloway, E. (2004). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. *Journal of the Learning Sciences*, 13, 337-386.
- Reid, D.J., Zhang, J. & Chen, Q. (2003). Supporting scientific discovery learning in a simulation environment. *Journal of Computer Assisted Learning*, 19, 9-20.
- Reigeluth, C.M. & Stein, F.S. (1983). The elaboration theory of instruction. In C.M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models: An overview of their current status* (pp. 335-382). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Reiser, B.J. (2004). Scaffolding complex learning: The mechanisms of structuring and problematizing student work. *The Journal of the Learning Sciences*, 13, 273-304.
- Renkl, A., Atkinson, R.K. & Maier, U.H. (2000). From studying examples to solving problems: Fading worked-out solution steps helps learning. In L. Gleitman & A.K. Joshi (Eds.), *Proceeding of the 22nd Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 393-398). Mahwah, NJ: Erlbaum.

- Rheinberg, F. (1998). Bezugsnorm-Orientierung. In D.H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 39-43). Weinheim: Beltz, PVU.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B.D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica*, 47, 57-66.
- Rieber, L.P. & Parmley, M.W. (1995). To teach or not to teach? Comparing the use of computer-based simulations in deductive versus inductive approaches to learning with adults in science. *Journal of Educational Computing Research*, 13(4), 359-374.
- Rivers, R.H. & Vockell, E. (1987). Computer simulations to simulate scientific problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 24, 403-415.
- Rosenshine, B., Meister, C. & Chapman, S. (1996). Teaching students to generate questions: A review of the intervention studies. *Review of Educational Research*, 66, 181-221.
- Sadler, R. (1989). Formative assessment and the design of instructional systems. *Instructional Science*, 18, 119-144.
- Sales, G.C. (1993). Adapted and adaptive feedback in technology-based instruction. In J.V. Dempsey & G.C. Sales (Eds.), *Interactive instruction and feedback* (pp. 159-175). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology.
- Schauble, L. (1990). Belief revision in children: The role of prior knowledge and strategies for generating evidence. *Journal of Experimental Child Psychology*, 49, 31-57.
- Schauble, L., Glaser, R., Duschl, R.A., Schulze, S. & John, J. (1995). Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science classroom. *The Journal of the Learning Sciences*, 4, 131-166.
- Schauble, L., Glaser, R., Raghavan, K. & Reiner, M. (1991a). Causal models and experimentation strategies in scientific reasoning. *The Journal of the Learning Sciences*, 1, 201-239.
- Schauble, L., Klopfer, L.E. & Raghavan, K. (1991b). Students transitions from an engineering model to a science model of experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 859-882.
- Schauble, L., Raghavan, K. & Glaser, R. (1993). The discovery and reflection notation: A graphical trace for supporting self regulation in computer-based laboratories. In S. LaJoie & S. Derry (Eds.), *Computers as cognitive tools* (pp. 319-337). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Schiefele, U. & Pekrun, R. (1996). Psychologische Modelle des fremdgesteuerten und selbstgesteuerten Lernens. In F.E. Weinert (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Pädagogische Psychologie: Bd. 2. Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 249-278). Göttingen: Hogrefe.
- Schiefele, U., Wild, K.-P. & Winteler, A. (1995). Lernaufwand und Elaborationsstrategien als Mediatoren von Studieninteresse und Studienleistung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 9, 181-188.
- Schlagmüller, M. & Schneider, W. (2007). Würzburger Lesestrategie-Wissenstest für die Klassen 7-12 (WLST 7-12). In M. Hasselhorn, H. Marx & W. Schneider (Hrsg.), *Deutsche Schultests*. Göttingen Hogrefe.
- Schmeck, R.R. & Grove, E. (1979). Academic achievement and individual differences in learning processes. *Applied Psychological Measurement*, 3, 43-49.
- Schraw, G. (1998). Promoting general metacognitive awareness. *Instructional Science*, 26, 113-125.
- Schraw, G. (2007). The use of computer-based environments for understanding and improving self-regulation. *Metacognition and Learning*, 2, 169-176.
- Schreiber, B. (1998). *Selbstreguliertes Lernen. Entwicklung und Evaluation von Trainingsansätzen für Berufstätige*. Münster: Waxmann.
- Schunk, D.H. & Zimmerman, B.J. (1994) (Eds). *Self-regulation of learning and performance. Issues and educational applications*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Schwonke, R., Hauser, S., Nückles, M. & Renkl, A. (2006). Enhancing computer-supported writing of learning protocols by adaptive prompts. *Computers in Human Behavior*, 22, 77-92.
- Shute, V.J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of Educational Research*, 78, 153-189.
- Shute, V.J. & Glaser, R. (1990). A large scale evaluation of an intelligent discovery world: Smithtown. *Interactive Learning Environments*, 1, 51-77.
- Simmons, P.E. & Lunetta, V.N. (1993). Problem-solving behaviors during a genetics computer simulation: beyond the expert/novice dichotomy. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 153-173.
- Simons, P.R.J. & de Jong, F.P. (1992). Self-regulation and computer-aided instruction. *Applied Psychology. An International Review*, 41, 333-346.
- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen. Kognitive Voraussetzungen für erfolgreiches Handeln bei computersimulierten Problemen*. Göttingen: Hogrefe.

- Swaak, J. & de Jong, T. (1996). Measuring intuitive knowledge in science: the development of the what-if test. *Studies in Educational Evaluation*, 22, 341-362.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257-285.
- Sweller, J. (1999). *Instructional design in technical areas*. Camberwell, Australia: ACER Press.
- Sweller, J., van Merriënboer, J.J.G. & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.
- Tabak, I., Smith, B.K., Sandoval, W.A. & Reister, B.J. (1996). Combining general and domain-specific strategic supports for biological inquiry. In C. Frasson, G. Gauthier & A. Lesgold (Eds.), *Intelligent Tutoring Systems* (pp. 288-297). Berlin: Springer-Verlag.
- Tschirgi, J.E. (1980). Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. *Child Development*, 51, 1-10.
- Thillmann, H. (2008). *Selbstreguliertes Lernen durch Experimentieren: Von der Erfassung zur Förderung* (Dissertationsschrift). Universität Duisburg-Essen, Fachbereich Bildungswissenschaften, Essen.
- Thillmann, H., Gößling, J., Wirth, J. & Leutner, D. (2009). Strategisches Lernen mit interaktiven digitalen Medienverbünden. In R. Plötzner, T. Leuders & A. Wichert (Hrsg.), *Lernchance Computer - Strategien für das Lernen mit digitalen Medienverbünden* (S. 89-107). Münster: Waxmann.
- Thillmann, H., Künsting, J., Wirth, J. & Leutner, D. (2009). Is it merely a question of “what” to prompt or also “when” to prompt? The role of point of presentation time of prompts in self-regulated learning. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23, 105-115.
- Tuckman, B. W. & Sexton, T. L. (1992). The effects of informational feedback and self-beliefs on the motivation to perform a self-regulated task. *Journal of Research in Personality*, 26, 121-127.
- van den Boom, G., Paas, F., van Merriënboer, J.J.G. & van Gog, T. (2004). Reflection prompts and tutor feedback in a web-based learning environment: effects on students’ self-regulated learning competence. *Computers in Human Behavior*, 20, 551-567.
- van Joolingen, W.R. (1999). Cognitive tools for discovery learning. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 10, 385-397.

- van Joolingen, W.R. & de Jong, T. (1991). Supporting hypothesis generation by learners exploring an interactive computer simulation. *Instructional Science*, 20, 389-404.
- van Joolingen, W.R. & de Jong, T. (1993). Exploring a domain through a computer simulation: traversing variable and relation space with the help of a hypothesis scratchpad. In D. Towne, T. de Jong & H. Spada (Eds.), *Simulation-based Experiential Learning* (pp. 191-206). Berlin: Springer.
- van Joolingen, W.R. & de Jong, T. (1997). An extended dual search space model of learning with computer simulations. *Instructional Science*, 25, 307-346.
- van Joolingen, W.R., de Jong, T. & Dimitrakopoulou, A. (2007). Issues in computer supported inquiry learning in science. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23, 111-119.
- Vasilyeva, E., Puuronen, S., Pechenizkiy, M. & Räsänen, P. (2007). Feedback adaptation in web-based learning systems. *International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning*, 17, 337-357.
- Veenman, M.V.J. (1993). *Metacognitive ability and metacognitive skill: Determinants of discovery learning in computerized learning environments*. Amsterdam: University of Amsterdam.
- Veenman, M.V.J. & Elshout, J.J.(1991). Intellectual ability and working method as predictors of novice learning. *Learning and Instruction*, 1, 303-317.
- Veenman, M.V.J., Elshout, J.J. & Busato, V.V. (1994). Metacognitive mediation in learning with computer-based simulations. *Computers in Human Behavior*, 10, 93-106.
- Veenman, M.V.J., Elshout, J.J. & Meijer, J. (1997). The generality vs domain specificity of metacognitive skills in novice learners across domains. *Learning and Instruction*, 7, 187-209.
- Veenman, M.V.J., Kerseboom, L. & Imthorn, C. (2000). Test anxiety and metacognitive skilfulness: Availability versus production deficiencies. *Anxiety, Stress, and Coping*, 13, 391-412.
- Veenman, M.V.J., Kok, R. & Blöte, A.W. (2005). The relation between intellectual and metacognitive skills in early adolescence. *Instructional Science*, 33, 193-211.
- Veenman, M.V.J., van Hout-Wolters, B.H.A.M. & Afflerbach, P. (2006). Metacognition and learning: conceptual and methodological considerations. *Metacognition and Learning*, 1, 3-14.

- Veermans, K.H., de Jong, T. & van Joolingen, W.R. (2000). Promoting self-directed learning in simulation-based discovery learning environments through intelligent support. *Interactive Learning Environments*, 8, 229-255.
- Veermans, K.H., van Joolingen, W.R. & den Jong, T. (2006). Using heuristics to facilitate discovery learning in a simulation learning environment in a physics domain. *International Journal of Science Education*, 28, 341-361.
- Vollmeyer, R. & Burns, B.D. (1996). Hypotheseninstruktion und Zielspezifität: Bedingungen, die das Erlernen und Kontrollieren eines komplexen Systems beeinflussen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 43, 657-683.
- Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (1998). Motivationale Einflüsse auf Erwerb und Anwendung von Wissen in einem computersimulierten System. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 12, 11-23.
- Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (1999). Motivation and metacognition when learning a complex system. *European Journal of Psychology of Education*, 14, 541-554.
- Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (2005). A surprising effect of feedback on learning. *Learning and Instruction*, 15, 589-602.
- Wason, P.C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 129-140.
- Weinert, F.E. (1984). Metakognition und Motivation als Determinanten der Lerneffektivität: Einführung und Überblick. In F.E. Weinert & R.H. Kluwe (Hrsg.), *Metakognition, Motivation und Lernen* (S. 9-21). Stuttgart: Kohlhammer.
- Weinert, F.E. & Kluwe, R.H. (Hrsg.). (1984). *Metakognition, Motivation und Lernen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Weinstein, C.E., Husman, J. & Dierking, D.R. (2000). Self-regulation interventions with a focus on learning strategies. In M. Boekaerts, P.R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 727-747). San Diego, California: Academic Press.
- Weinstein, C.E. & Mayer, R.E. (1986). The teaching of learning strategies. In M.C. Wittrock (Ed.), *Handbook of Research on Teaching* (3rd ed., pp. 315-327). New York: Macmillan.
- Wild, K.-P. (2000). *Lernstrategien im Studium*. Münster: Waxmann.
- Wild, K.-P. & Schiefele, U. (1993). Induktiv versus deduktiv entwickelte Fragebogenverfahren zur Erfassung von Merkmalen des Lernverhaltens. *Unterrichtswissenschaft*, 21, 312-326.

- Wild, K.-P. & Schiefele, U. (1994). Lernstrategien im Studium: Ergebnisse zur Faktorenstruktur und Reliabilität eines neuen Fragebogens. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 15, 185-200.
- Wild, K.-P., Schiefele, U. & Winteler, A. (1992). *LIST. Ein Verfahren zur Erfassung von Lernstrategien im Studium* (Gelbe Reihe: Arbeiten zur Empirischen Pädagogik und Pädagogischen Psychologie, Nr. 20). Neubiberg: Universität der Bundeswehr, Institut für Erziehungswissenschaft und Pädagogische Psychologie.
- Winne, P.H. (1996). A metacognitive view of individual differences in self-regulated learning. *Learning and Individual Differences*, 8, 327-353.
- Winne, P.H. & Hadwin, A.F. (1998). Studying as self-regulated learning. In D.J. Hacker, J. Dunlosky & A.C. Graesser (Hrsg.), *Metacognition in Educational Theory and Practice* (S. 277-304). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Winter, A. (1992). *Metakognition beim Textproduzieren*. Tübingen: Narr.
- Winters, F.I. & Azevedo, R. (2005). High-school students' regulation of learning during computer-based science inquiry. *Journal of Educational Computing Research*, 33, 189-217.
- Winters, F.I., Greene, J.A. & Costich, C.M. (2008). Self-regulation of learning within computer-based learning environments: A critical analysis. *Educational Psychology Review*, 20, 429-444.
- Wirth, J. (2004). *Selbstregulation von Lernprozessen*. Münster: Waxmann.
- Wirth, J. (2005). Selbstreguliertes Lernen in komplexen und dynamischen Situationen. Die Nutzung von Handlungsdaten zur Erfassung verschiedener Aspekte der Lernprozessregulation. In C. Artelt & B. Moschner (Hrsg.), *Lernstrategie und Metakognition: Implikationen für Forschung und Praxis* (S. 101-127). Münster: Waxmann.
- Wirth, J. & Leutner, D. (2006). Selbstregulation beim Lernen in interaktiven Lernumgebungen. In H. Mandl & H.F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 172-184). Göttingen: Hogrefe.
- Wirth, J., Leutner, D. & Fischer, H. E. (2006). TP 3: Diagnose und Förderung von Lernprozessen im naturwissenschaftlichen Unterricht. In H. E. Fischer et al., *Forschergruppe & Graduiertenkolleg Naturwissenschaftlicher Unterricht NWU-Essen – Anträge zur Fortsetzung 2006-2009*.
- Wirth, J., Thillmann, H., Küsting, J., Fischer, H.E. & Leutner, D. (2008). Das Schülerexperiment im naturwissenschaftlichen Unterricht – Bedingungen der

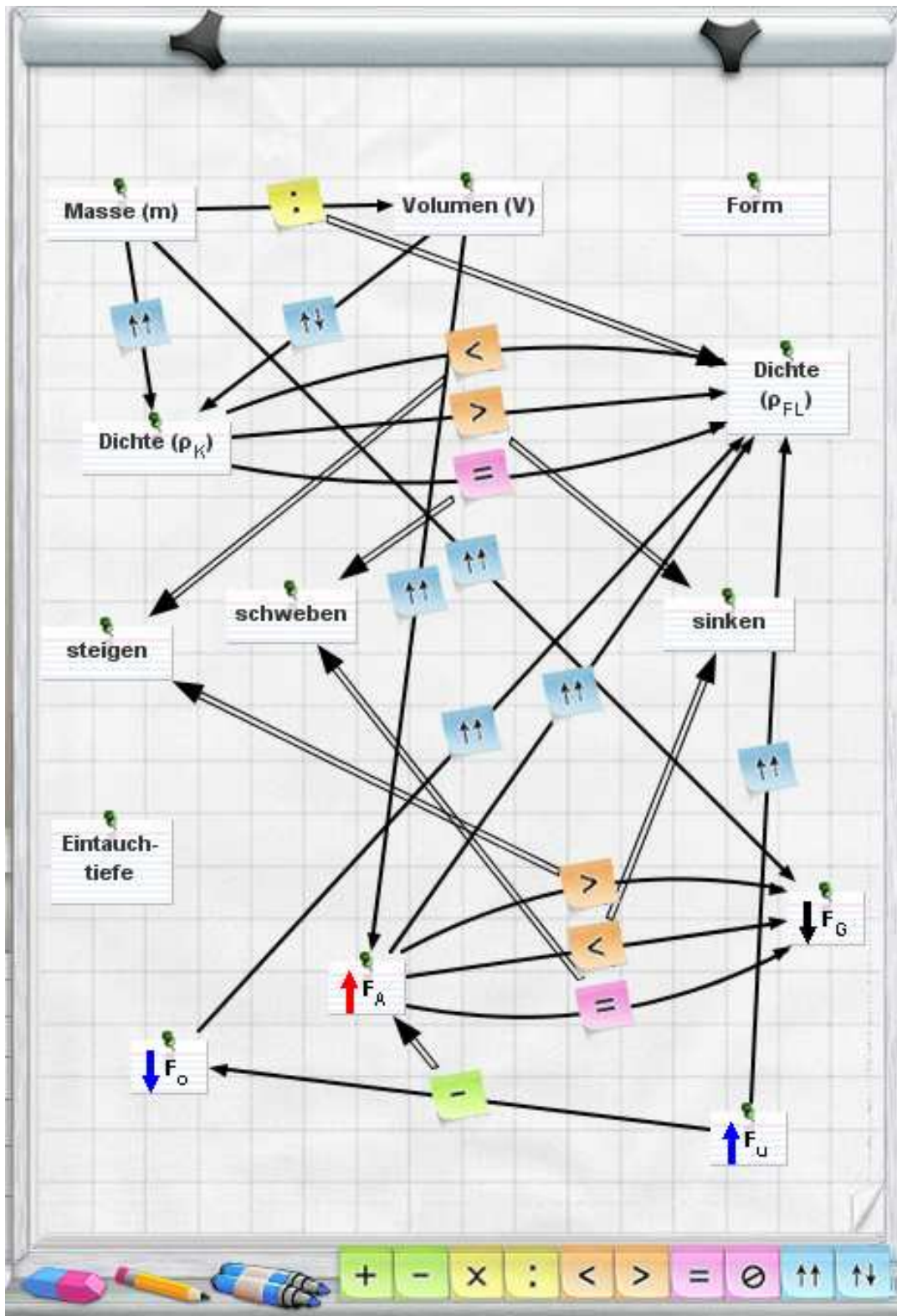
- Lernförderlichkeit einer verbreiteten Lehrmethode aus instruktionspsychologischer Sicht. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54, 361-375.
- White, B.Y. (1993). ThinkerTools: Causal models, conceptual change, and science education. *Cognition and Instruction*, 10, 1-100.
- White, B.Y., & Frederiksen, J.R. (1998). Inquiry, modelling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16, 3-118.
- Zhang, J. (2000). *Simulation-based Scientific Discovery Learning: The internal conditions and the facilitative learning supports*. A PhD Dissertation. Beijing Normal University.
- Zhang, J., Chen, Q., Sun, Y. & Reid, D.J. (2004). Triple scheme of learning support design for scientific discovery learning based on computer simulation: experimental research. *Journal of Computer Assisted Learning*, 20, 269-282.
- Zimmerman, B.J. (1989). A social cognitive view of self-regulated academic learning. *Journal of Educational Psychology*, 81, 329-339.
- Zimmerman, B.J. (1998). Developing self-fulfilling cycles of academic regulation: An analysis of exemplary instructional models. In D.H. Schunk & B.J. Zimmerman (Eds.), *Self-regulated learning - From teaching to self-reflective practice* (pp. 1-19). New York: The Guilford Press.
- Zimmerman, B.J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P.R. Pintrich & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 13-39). San Diego, CA: Academic Press.
- Zimmerman, B.J. & Martinez-Pons, M. (1990). Student differences in self-regulated learning: Relating grade, sex, and giftedness to self-efficacy and strategy use. *Journal of Educational Psychology*, 82, 51-59.

A Expertenmaps

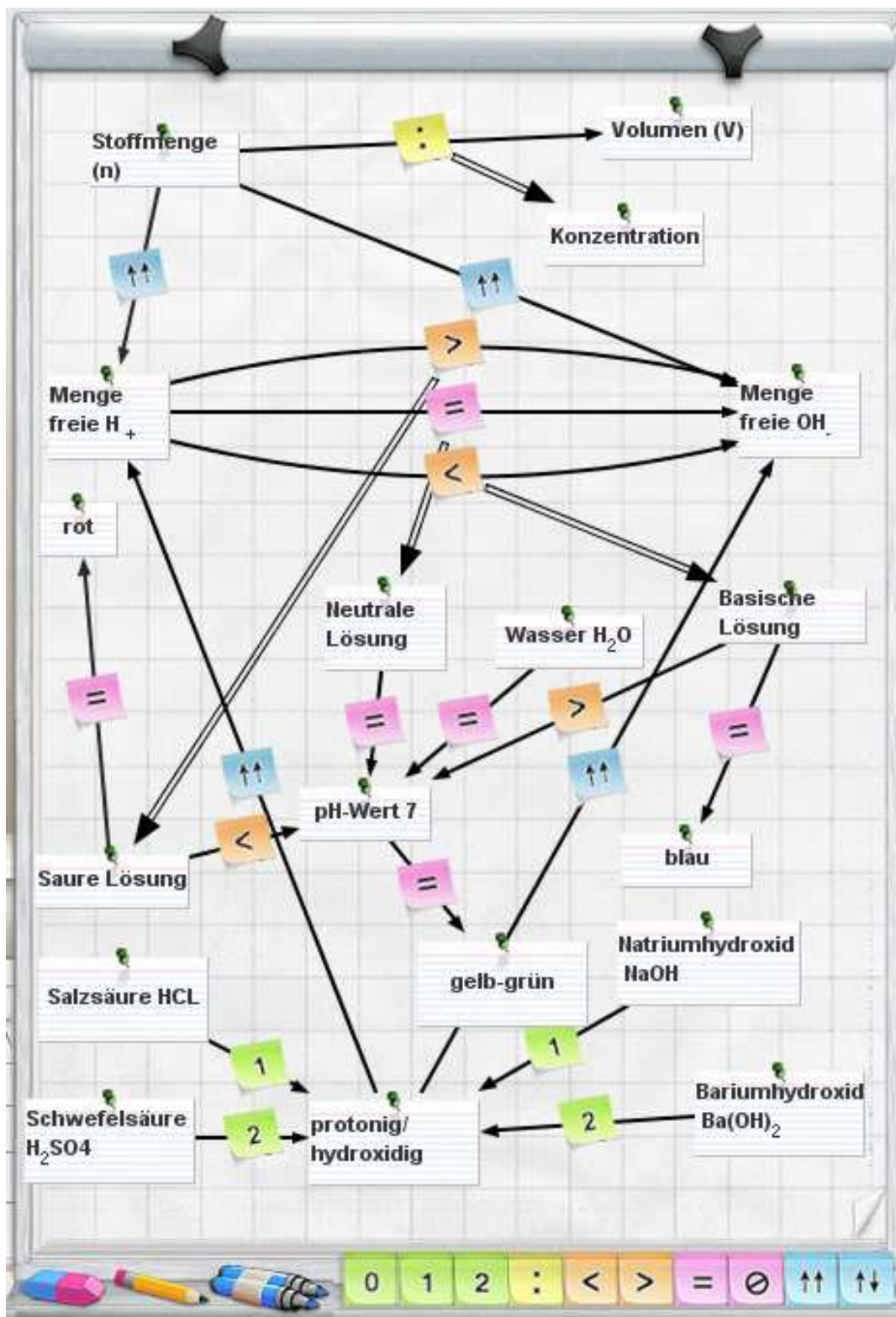
A1 Relationen der Lernumgebung „Auftrieb in Flüssigkeiten“

A2 Relationen der Lernumgebung „Säuren und Basen“

A1: Relationen der Lernumgebung „Auftrieb in Flüssigkeiten“



A2: Relationen der Lernumgebung „Säuren und Basen“



B Wissenserwerbstest zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“ (WET Physik)

B1 Prätest WET Physik

B2 Posttest WET Physik

B1: Prätest WET Physik

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

im Folgenden findest du Fragen zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“.

Beantworte bitte alle Fragen so gut du es kannst. Kreuze dazu die deiner Meinung nach richtige Antwort an. Es ist immer nur eine Antwort richtig. Wenn du die Antwort nicht weißt, kannst du auch „weiß ich nicht“ ankreuzen.

Vielen Dank!

- 1) Auf einen Körper können verschiedene Kräfte wirken. Die Kraft F_A , die auf einen Körper wirkt, ist...

- a) **die Auftriebskraft.**⁴
- b) die Gewichtskraft.
- c) die Kraft die von oben auf die obere Grundfläche eines Körpers drückt.
- d) die Kraft die von unten auf die untere Grundfläche eines Körpers drückt.
- e) Weiß ich nicht.

- 2) Was passiert, wenn man bei einem Körper, den man ins Wasser wirft, sein Volumen (V) verkleinert und die Masse (m) gleich bleibt?

- a) Die Kraft F_G wird größer.
- b) Die Kraft F_G wird kleiner.
- c) Die Kraft F_A wird größer.
- d) **Die Kraft F_A wird kleiner.**
- e) Weiß ich nicht.

- 3) Was passiert, wenn die Dichte eines Körpers (ρ_K) gleich groß ist wie die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}), in die man ihn wirft?

- a) Die Kraft F_G wird größer als die Kraft F_A .
- b) **Die Kraft F_G wird genauso groß wie die Kraft F_A .**
- c) Die Kraft F_o wird größer als die Kraft F_u .
- d) Die Kraft F_o wird genauso groß wie die Kraft F_u .
- e) Weiß ich nicht.

- 4) Was passiert, wenn die Dichte eines Körpers (ρ_K) kleiner ist als die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}), in die man ihn wirft?

- a) **Die Kraft F_A wird größer als die Kraft F_G .**
- b) Die Kraft F_A wird genauso groß wie die Kraft F_G .
- c) Die Kraft F_o wird größer als die Kraft F_u .
- d) Die Kraft F_o wird genauso groß wie die Kraft F_u .
- e) Weiß ich nicht.

⁴ Die richtigen Antwortalternativen sind fett markiert.

- 5) Was passiert, wenn man denselben Körper nacheinander in zwei Behälter mit unterschiedlicher Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}) wirft? Je größer die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}) ist, ...
- a) desto größer die Kraft F_G .
 - b) desto geringer die Kraft F_G .
 - c) desto größer die Kraft F_A .**
 - d) desto geringer die Kraft F_A .
 - e) Weiß ich nicht.
- 6) Was ist der Grund dafür, dass ein Körper im Wasser steigt?
- a) Die Kraft F_A des Körpers ist kleiner als seine Kraft F_G .
 - b) Die Kraft F_A des Körpers ist gleich der Kraft F_G .
 - c) Die Dichte des Körpers ist kleiner als die Dichte der Flüssigkeit.**
 - d) Die Dichte des Körpers ist gleich der Dichte der Flüssigkeit.
 - e) Weiß ich nicht.
- 7) Was ist der Grund dafür, dass ein Körper im Wasser schwebt?
- a) Die Kraft F_o ist größer als die Kraft F_u .
 - b) Die Kraft F_o ist gleich der Kraft F_u .
 - c) Die Dichte des Körpers ist größer als die Dichte der Flüssigkeit.
 - d) Die Dichte des Körpers ist gleich der Dichte der Flüssigkeit.**
 - e) Weiß ich nicht.
- 8) Wenn ein Körper im Wasser sinkt, ist...
- a) seine Kraft F_A größer als seine Kraft F_G .
 - b) seine Kraft F_G größer als seine Kraft F_A .**
 - c) seine Kraft F_A größer als die Kraft F_u .
 - d) seine Kraft F_G größer als die Kraft F_u .
 - e) Weiß ich nicht.
- 9) Würfel A hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Masse von 100g. Würfel B hat ein Volumen von 100cm^3 und eine Masse von 100g. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- a) Die Dichte des Würfels A ist größer als die Dichte des Würfels B.
 - b) Die Dichte des Würfels A ist kleiner als die Dichte des Würfels B.**
 - c) Die Kraft F_G des Würfels A ist größer als die Kraft F_G des Würfels B.
 - d) Die Kraft F_G des Würfels A ist kleiner als die Kraft F_G des Würfels B.
 - e) Weiß ich nicht.

- 10) Würfel A hat eine Masse von 100g und ein Volumen von 200cm^3 . Würfel B hat eine Masse von 500g und ein Volumen von 200cm^3 . Beide Würfel befinden sich in derselben Flüssigkeit. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- a) Die Kraft F_G des Würfels A ist größer als die Kraft F_G des Würfels B.
 - b) Die Kraft F_G des Würfels A ist kleiner als die Kraft F_G des Würfels B.**
 - c) Die Kraft F_A des Würfels A ist größer als die Kraft F_A des Würfels B.
 - d) Die Kraft F_A des Würfels A ist kleiner als die Kraft F_A des Würfels B.
 - e) Weiß ich nicht.
- 11) Ein Würfel hat eine Dichte von $\rho_K = 3\text{g/cm}^3$. Er befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von $\rho_{FL} = 1\text{g/cm}^3$ hat. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- a) Die Kraft F_G des Würfels ist größer als seine Kraft F_A .**
 - b) Die Kraft F_G des Würfels ist genauso groß wie seine Kraft F_A .
 - c) Die Kraft F_o ist größer als die Kraft F_u .
 - d) Die Kraft F_o ist genauso groß wie die Kraft F_u .
 - e) Weiß ich nicht.
- 12) Ein Würfel hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/cm^3 . Eine Kugel hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/cm^3 . Beide Körper befinden sich in derselben Flüssigkeit. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- a) Die Kraft F_G beider Körper ist gleich und die Kraft F_A des Würfels ist kleiner.
 - b) Die Kraft F_G des Würfels ist kleiner und die Kraft F_A beider Körper ist gleich.
 - c) Die Kraft F_G beider Körper ist gleich und die Kraft F_A des Würfels ist größer.
 - d) Die Kraft F_G beider Körper ist gleich und die Kraft F_A beider Körper ist gleich.**
 - e) Weiß ich nicht.
- 13) Würfel A und B haben ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/cm^3 . Würfel A befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von $\rho_{FL} = 1\text{g/cm}^3$ hat. Würfel B befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von $\rho_{FL} = 3\text{g/cm}^3$ hat. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- a) Die Kraft F_A des Würfels A ist größer als die Kraft F_A des Würfels B.
 - b) Die Kraft F_G des Würfels A ist kleiner als die Kraft F_G des Würfels B.
 - c) Die Kräfte F_o und F_u des Würfels A sind größer als die Kräfte F_o und F_u des Würfels B.
 - d) Die Kräfte F_o und F_u des Würfels A sind kleiner als die Kräfte F_o und F_u des Würfels B.**
 - e) Weiß ich nicht.

- 14) Auf einen Würfel A wirken die Kräfte $F_o = 20\text{N}$ und $F_u = 40\text{N}$. Auf einen Würfel B wirken die Kräfte $F_o = 50\text{N}$ und $F_u = 100\text{N}$. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- a) Die Kraft F_G des Würfels A ist größer als die Kraft F_G des Würfels B.
 - b) Die Kraft F_G des Würfels A ist kleiner als die Kraft F_G des Würfels B.
 - c) Die Kraft F_A des Würfels A ist größer als die Kraft F_A des Würfels B.
 - d) Die Kraft F_A des Würfels A ist kleiner als die Kraft F_A des Würfels B.**
 - e) Weiß ich nicht.
- 15) Wann sinkt ein Körper in einer Flüssigkeit mit der Dichte 3g/cm^3 ?
- a) Wenn die Dichte des Körpers $= 1\text{g/cm}^3$ ist.
 - b) Wenn die Dichte des Körpers $= 2\text{g/cm}^3$ ist.
 - c) Wenn die Dichte des Körpers $= 3\text{g/cm}^3$ ist.
 - d) Wenn die Dichte des Körpers $= 4\text{g/cm}^3$ ist.**
 - e) Weiß ich nicht.

B2: Posttest WET Physik

Hier findest du noch einmal Fragen zum Thema „Auftrieb in Flüssigkeiten“. Du kannst berichten, was du heraus gefunden hast, indem du wieder die deiner Meinung nach richtige Antwort ankreuzt oder auch „weiß ich nicht“, falls du die Antwort nicht kennst.

Diese Fragen sind denen im ersten Test sehr ähnlich, aber es sind nicht die gleichen.

Viel Spaß!

- 1) Was passiert, wenn man bei einem Körper, den man ins Wasser wirft, seine Masse (m) vergrößert und das Volumen (V) gleich bleibt?
 - a) **Die Kraft F_G wird größer.**⁵
 - b) Die Kraft F_G wird kleiner.
 - c) Die Kraft F_A wird größer.
 - d) Die Kraft F_A wird kleiner.
 - e) Weiß ich nicht.
- 2) Was passiert, wenn die Dichte eines Körpers (ρ_K) gleich groß ist wie die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}), in die man ihn wirft?
 - a) Die Kraft F_G wird größer als die Kraft F_A .
 - b) **Die Kraft F_G wird genauso groß wie die Kraft F_A .**
 - c) Die Kraft F_o wird größer als die Kraft F_u .
 - d) Die Kraft F_o wird genauso groß wie die Kraft F_u .
 - e) Weiß ich nicht
- 3) Was passiert, wenn die Dichte eines Körpers (ρ_K) kleiner ist als die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}), in die man ihn wirft?
 - a) **Die Kraft F_A wird größer als die Kraft F_G .**
 - b) Die Kraft F_A wird genauso groß wie die Kraft F_G .
 - c) Die Kraft F_o wird größer als die Kraft F_u .
 - d) Die Kraft F_o wird genauso groß wie die Kraft F_u .
 - e) Weiß ich nicht
- 4) Was passiert, wenn man denselben Körper nacheinander in zwei Behälter mit unterschiedlicher Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}) wirft? Je größer die Dichte der Flüssigkeit (ρ_{FL}) ist, ...
 - a) desto größer die Kraft F_G .
 - b) desto geringer die Kraft F_G .
 - c) **desto größer die Kraft F_A .**
 - d) desto geringer die Kraft F_A .
 - e) Weiß ich nicht

⁵ Die richtigen Antwortalternativen sind fett markiert.

- 5) Was ist der Grund dafür, dass ein Körper im Wasser sinkt?
- a) Die Kraft F_A des Körpers ist größer als seine Kraft F_G .
 - b) Die Kraft F_A des Körpers ist gleich seiner Kraft F_G .
 - c) Die Dichte des Körpers ist größer als die Dichte der Flüssigkeit.**
 - d) Die Dichte des Körpers ist gleich der Dichte der Flüssigkeit.
 - e) Weiß ich nicht
- 6) Was ist der Grund dafür, dass ein Körper im Wasser schwebt?
- a) Die Kraft F_o ist größer als die Kraft F_u .
 - b) Die Kraft F_o ist gleich der Kraft F_u .
 - c) Die Dichte des Körpers ist größer als die Dichte der Flüssigkeit.
 - d) Die Dichte des Körpers ist gleich der Dichte der Flüssigkeit.**
 - e) Weiß ich nicht
- 7) Wenn ein Körper im Wasser steigt, ist...
- a) seine Kraft F_A größer als seine Kraft F_G .**
 - b) seine Kraft F_G größer als seine Kraft F_A .
 - c) seine Kraft F_A größer als die Kraft F_u
 - d) seine Kraft F_G größer als die Kraft F_u .
 - e) weiß ich nicht
- 8) Würfel A hat eine Masse von 100g und ein Volumen von 200cm³. Würfel B hat eine Masse von 500g und ein Volumen von 200cm³. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- a) Die Dichte des Würfels A ist größer als die Dichte des Würfels B.
 - b) Die Dichte des Würfels A ist kleiner als die Dichte des Würfels B.**
 - c) Die Kraft F_A des Würfels A ist größer als die Kraft F_A des Würfels B.
 - d) Die Kraft F_A des Würfels A ist kleiner als die Kraft F_A des Würfels B.
 - e) Weiß ich nicht.
- 9) Würfel A hat ein Volumen von 1000cm³ und eine Masse von 100g. Würfel B hat ein Volumen von 100cm³ und eine Masse von 100g. Beide Würfel befinden sich in derselben Flüssigkeit. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- a) Die Gewichtskraft des Würfels A ist größer als die Gewichtskraft des Würfels B.
 - b) Die Gewichtskraft des Würfels A ist kleiner als die Gewichtskraft des Würfels B.
 - c) Die Auftriebskraft des Würfels A ist größer als die Auftriebskraft des Würfels B.**
 - d) Die Auftriebskraft des Würfels A ist kleiner als die Auftriebskraft des Würfels B.
 - e) Weiß ich nicht.

- 10) Ein Würfel hat eine Dichte von $\rho_K = 3\text{g/cm}^3$. Er befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von $\rho_{FL} = 1\text{g/cm}^3$ hat. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- a) Die Kraft F_G des Würfels ist größer als seine Kraft F_A .
 - b) Die Kraft F_G des Würfels ist genauso groß wie seine Kraft F_A .
 - c) Die Kraft F_o ist größer als die Kraft F_u .
 - d) Die Kraft F_o ist genauso groß wie die Kraft F_u .
 - e) Weiß ich nicht.
- 11) Ein Würfel hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/cm^3 . Eine Kugel hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/cm^3 . Beide Körper befinden sich in derselben Flüssigkeit. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- a) Die Kraft F_G beider Körper ist gleich und die Kraft F_A des Würfels ist kleiner.
 - b) Die Kraft F_G des Würfels ist kleiner und die Kraft F_A beider Körper ist gleich.
 - c) Die Kraft F_G beider Körper ist gleich und die Kraft F_A des Würfels ist größer.
 - d) Die Kraft F_G beider Körper ist gleich und die Kraft F_A beider Körper ist gleich.
 - e) Weiß ich nicht.
- 12) Würfel A hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/cm^3 . Er befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von $\rho_{FL} = 1\text{g/cm}^3$ hat. Würfel B hat ein Volumen von 1000cm^3 und eine Dichte von 1g/cm^3 . Er befindet sich in einer Flüssigkeit, die eine Dichte von $\rho_{FL} = 3\text{g/cm}^3$ hat. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- a) Die Kraft F_A des Würfels A ist größer als die Kraft F_A des Würfels B.
 - b) Die Kraft F_G des Würfels A ist kleiner als die Kraft F_G des Würfels B.
 - c) Die Kräfte F_o und F_u des Würfels A sind größer als die Kräfte F_o und F_u des Würfels B.
 - d) Die Kräfte F_o und F_u des Würfels A sind kleiner als die Kräfte F_o und F_u des Würfels B.
 - e) Weiß ich nicht.
- 13) Auf einen Würfel A wirken die Kräfte $F_o = 20\text{N}$ und $F_u = 40\text{N}$. Auf einen Würfel B wirken die Kräfte $F_o = 50\text{N}$ und $F_u = 100\text{N}$. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
- a) Die Kraft F_G des Würfels A ist größer als die Kraft F_G des Würfels B.
 - b) Die Kraft F_G des Würfels A ist kleiner als die Kraft F_G des Würfels B.
 - c) Die Kraft F_A des Würfels A ist größer als die Kraft F_A des Würfels B.
 - d) Die Kraft F_A des Würfels A ist kleiner als die Kraft F_A des Würfels B.
 - e) Weiß ich nicht.
- 14) Wann sinkt ein Körper in einer Flüssigkeit mit der Dichte 3g/cm^3 ?
- a) Wenn die Dichte des Körpers $= 1\text{g/cm}^3$ ist.
 - b) Wenn die Dichte des Körpers $= 2\text{g/cm}^3$ ist.
 - c) Wenn die Dichte des Körpers $= 3\text{g/cm}^3$ ist.
 - d) Wenn die Dichte des Körpers $= 4\text{g/cm}^3$ ist.
 - e) Weiß ich nicht.

C Glossare und Aufträge

C1 Glossar zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“

C2 Aufträge zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“

C3 Glossar zu „Säuren und Basen“

C4 Aufträge zu „Säuren und Basen“

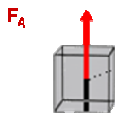
C1: Glossar zu „Auftrieb in Flüssigkeiten

Glossar Physik**Dichte des Körpers**

Die Dichte (abgekürzt ρ) beschreibt eine Eigenschaft von Stoffen, so gibt es zum Beispiel die *Dichte eines Körpers* ρ_K . Man kann sie berechnen indem man die Masse eines Stoffes durch das Volumen dieses Stoffes teilt.

Dichte der Flüssigkeit

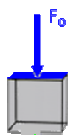
Die Flüssigkeiten im Labor (**Süßwasser** und **Salzwasser**) haben eine unterschiedliche Dichte der Flüssigkeit ρ_{FL} .

Kraft F_A 

Ist die **Auftriebskraft**, sie drückt den Körper im Wasser nach oben. Kräfte werden in der Maßeinheit Newton (N) angegeben.

Kraft F_G 

Ist die **Gewichtskraft**, sie drückt den Körper im Wasser nach unten. Kräfte werden in der Maßeinheit Newton (N) angegeben.

Kraft F_o 

Ist die **Kraft, die von oben** auf die obere Grundfläche eines Körpers drückt. Der Kraftmesser am Gefäßrand zeigt diese Kraft in blau an. Kräfte werden in der Maßeinheit Newton (N) angegeben.

**Kraft F_u**

Ist die **Kraft, die von unten** auf die untere Grundfläche eines Körpers drückt. Der Kraftmesser am Gefäßrand zeigt diese Kraft in grün an. Kräfte werden in der Maßeinheit Newton (N) angegeben.

C2: Aufträge zu „Auftrieb in Flüssigkeiten“

Hier noch einmal mein Auftrag:
Finde so viel wie möglich darüber heraus, wovon es
abhängt, ob ein Körper im Wasser sinkt, schwebt oder
steigt.

**Zur Orientierung ein paar Hilfen**

Finde heraus:

1. Welchen Einfluss hat die Form des Körpers darauf, ob er im Wasser sinkt, schwebt oder steigt?
2. Welchen Einfluss haben die Auftriebskraft (F_A) und die Gewichtskraft (F_G) eines Körpers darauf, ob der Körper a) sinkt, b) schwebt oder c) steigt?
3. Was beeinflusst die Dichte eines Körpers? Welchen Einfluss haben die Dichte des Körpers und Dichte der Flüssigkeit darauf, ob der Körper a) sinkt, b) schwebt bzw. c) steigt?

C3: Glossar zu „Säuren und Basen“

Glossar Chemie**Ätzende Lösungen** im Labor:

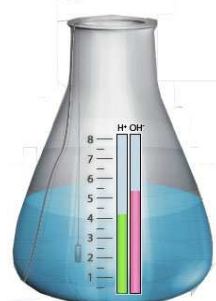
| Saure Lösungen | Basische Lösungen |
|--|--|
| Salzsäure $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ | Natriumhydroxid $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ |
| Schwefelsäure $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ | Bariumhydroxid $\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ |

Chemische Lösung

Stoffe, die in Wasser gelöst sind. Deswegen wird hinter dem Namen des Stoffes immer ein (aq) angegeben.

Ionen

Manche chemische Stoffe zerfallen beim Lösen in kleinere Teilchen, die man auch Ionen nennt.



Der Teilchenmesser zeigt die Ionen symbolisch an. In der linken Säule wird die Menge der freien **H⁺-Ionen** angezeigt, in der rechten Säule wird die Menge der freien **OH⁻-Ionen** angezeigt.

Zweiprotonige bzw. *zweihydroxidige* Lösungen bilden doppelt so viele H⁺-Ionen bzw. OH⁻-Ionen wie *einprotonige* bzw. *einhydroxidige* Lösungen.

pH-Wert

Der pH-Wert gibt an, ob eine Lösung sauer, neutral oder basisch ist. Er variiert zwischen 0 und 14.

Protonig/Hydroxidig

Die Protonigkeit bzw. Hydroxidigkeit gibt an, wie viele H⁺-Ionen bzw. OH⁻-Ionen die Lösung bildet. *Zweiprotonige* bzw. *zweihydroxidige* Lösungen bilden doppelt so viele H⁺-Ionen bzw. OH⁻-Ionen wie *einprotonige* bzw. *einhydroxidige* Lösungen.

Universalindikator

Der Universalindikator färbt sich bei sauren Lösungen in Rottönen, bei basischen Lösungen in Blautönen und bei neutralen Lösungen färbt er sich gelb-grün.

Stoffmenge in mol

Die Stoffmenge ist die Anzahl der Teilchen in der Lösung. Die Zählgröße mit der man die Stoffmenge angibt heißt mol.

C4: Aufträge zu „Säuren und Basen“

Hier noch einmal mein Auftrag:
Finde so viel wie möglich darüber heraus, wovon es
abhängt, ob eine Flüssigkeit sauer, neutral oder basisch
wird.

**Zur Orientierung ein paar Hilfen**

Finde heraus:

1. Wie verändern sich der pH-Wert bzw. die Farbe und die Anzahl der freien H^+ -Ionen bzw. OH^- -Ionen je nachdem, welche Lösung du auswählst?
2. Welchen Einfluss hat das Verhältnis zwischen der Menge freier H^+ -Ionen und der Menge freier OH^- -Ionen zweier Lösungen, die du mischt, darauf, ob das Ergebnis a) sauer, b) neutral oder c) basisch ist?
3. Welche saure Lösung ist einprotonig und welche zweiprotonig bzw. welche basische Lösung ist einhydroxidig und welche zweihydroxidig? Welchen Einfluss hat die Protonigkeit bzw. Hydroxidigkeit auf die Menge der freien Ionen?

D Adaptive Prompts und Feedback-Botschaften

Adaptive Prompts und Feedback-Botschaften

Aufgelistet sind alle nach den Kombinationen des Algorithmus möglichen adaptiven Prompts und adaptiven Feedbackbotschaften. Wobei beim adaptiven Feedback die gesamte Textbotschaft gegeben wurde. Bei den adaptiven Prompts fehlten die kursiv gedruckten Textteile der Botschaft, da diese die Rückmeldungen innerhalb der Feedbackbotschaft sind.

1) Adaptives Feedback bzw. adaptiver Prompt zum ersten Zeitpunkt

Wenn **Variable 1** (Interaktion) **null (A)**, **Variable 2** (Notizen) **gering** und **Variable 3** (IVK-Experimente) **gering**:

Aa) „Du hast bisher wenige Ideen auf dem Notizblock eingezeichnet und keine davon in strategisch guten Experimenten überprüft. Mein Tipp: Überlege dir erst einmal eine Beziehung zwischen zwei Begriffen, die du einzeichnen und in Experimenten überprüfen kannst.“

Wenn **Variable 1** **null (A)**, **Variable 2** **gering** und **Variable 3** **hoch**:

Ab) „Du hast bisher schon strategisch gute Experimente durchgeführt, aber dazu nichts auf dem Notizblock eingezeichnet. Mein Tipp: Versuche bei deinem nächsten Experiment gleich auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1** **null (A)**, **Variable 2** **hoch** und **Variable 3** **gering**:

Ac) „Du hast bisher schon viele Ideen auf dem Notizblock eingezeichnet, aber diese nicht in strategisch guten Experimenten überprüft. Mein Tipp: Versuche zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1** **null (A)**, **Variable 2** **hoch** und **Variable 3** **hoch**:

Ad) „Du hast bisher schon viele Ideen eingezeichnet und auch viele strategisch gute Experimente gemacht, aber diese nicht miteinander verbunden. Mein Tipp: Versuche bei deinem nächsten Experiment gleich auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1** **gering (B)**, **Variable 2** **gering** und **Variable 3** **gering**:

Ba) „Du hast bisher nur wenige Ideen eingezeichnet und wenig strategisch gute Experimente zur Überprüfung deiner Ideen durchgeführt. Mein Tipp: Überlege dir als nächstes eine Idee, die du einzeichnen kannst und überprüfe sie in strategisch guten Experimenten. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1** **gering (B)**, **Variable 2** **gering** und **Variable 3** **hoch**:

Bb) „Du hast bisher schon viele strategisch gute Experimenten durchgeführt, aber nur wenig dazu auf dem Notizblock eingezeichnet. Mein Tipp: Versuche bei deinem nächsten Experiment gleich auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 gering (B), Variable 2 hoch und Variable 3 gering:**

Bc) „Du hast bisher schon viele Ideen auf dem Notizblock eingezeichnet, aber diese erst wenig in strategisch guten Experimenten überprüft. Mein Tipp: Versuche zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 gering (B), Variable 2 hoch und Variable 3 hoch:**

Bd) „Du hast bisher schon viele Ideen eingezeichnet und auch viele strategisch gute Experimente gemacht, aber diese erst wenig miteinander verbunden. Mein Tipp: Versuche bei deinem nächsten Experiment gleich dazu auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 (C) hoch, Variable 2 gering und Variable 3 gering:**

Ca) „Du hast schon einige deiner Ideen in strategisch guten Experimenten überprüft und deine Schlussfolgerungen daraus auf dem Notizblock notiert. Mein Tipp: Überlege dir als nächstes eine Idee, die du einzeichnen kannst und überprüfe sie in strategisch guten Experimenten. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 (C) hoch, Variable 2 gering und Variable 3 hoch:**

Cb) „Du hast schon einige deiner Ideen in strategisch guten Experimenten überprüft und deine Schlussfolgerungen daraus auf dem Notizblock notiert. Mein Tipp: Versuche bei deinem nächsten Experiment gleich auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 (C) hoch, Variable 2 hoch und Variable 3 gering:**

Cc) „Du hast schon einige deiner Ideen in strategisch guten Experimenten überprüft und deine Schlussfolgerungen daraus auf dem Notizblock notiert. Mein Tipp: Versuche zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 (C) hoch, Variable 2 hoch und Variable 3 hoch:**

Cd) „Du hast schon recht viele deiner Ideen in strategisch guten Experimenten überprüft und deine Schlussfolgerungen daraus auf dem Notizblock notiert. Mein Tipp: Versuche noch weitere Ideen in strategisch guten Experimenten zu überprüfen und deine Schlussfolgerungen daraus auf dem Notizblock festzuhalten!“

2) Adaptives Feedback bzw. adaptiver Prompt zum zweiten Zeitpunkt

Wenn **Variable 1 noch null (A)**, **Variable 2 gering** und **Variable 3 gering**:

Aa) „Du hast immer noch zu keinen eingezeichneten Ideen strategisch gute Experimenten zur Überprüfung durchgeführt. Mein Tipp: Versuche erst einmal ein paar Experimente durchzuführen, um eine Idee für eine Beziehung zwischen zwei Begriffen zu bekommen, die du dann einzeichnen kannst.“

Wenn **Variable 1 noch null (A)**, **Variable 2 gering** und **Variable 3 hoch**:

Ab) „Du hast immer noch keine Ideen und Schlussfolgerungen zu deinen strategisch guten Experimenten auf dem Notizblock eingezeichnet. Mein Tipp: Denke daran, beim nächsten Experiment gleich auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 noch null (A)**, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 gering**:

Ac) „Du hast immer noch keine deiner eingezeichneten Ideen in strategisch guten Experimenten überprüft. Mein Tipp: Denke daran, zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 noch null (A)**, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 hoch**:

Ad) „Du hast immer noch keine deiner eingezeichneten Ideen mit deinen strategisch guten Experimente verbunden. Mein Tipp: Denke daran, bei deinem nächsten Experiment gleich auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 geringer (B)** geworden ist, **Variable 2 gering** und **Variable 3 gering**:

Ba) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du nun weniger Ideen eingezeichnet und dazu strategisch gute Experimente zur Überprüfung durchgeführt. Mein Tipp: Überlege dir als nächstes eine Idee die du einzeichnen kannst und überprüfe sie in strategisch guten Experimenten. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 geringer (B)** geworden ist, **Variable 2 gering** und **Variable 3 hoch**:

Bb) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du nun weniger Ideen und Schlussfolgerungen zu deinen strategisch guten Experimenten auf dem Notizblock eingezeichnet. Mein Tipp: Denke daran, bei deinem nächsten Experiment auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 geringer (B)** geworden ist, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 gering**:

Bc) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du nun deine eingezeichneten Ideen seltener in strategisch guten Experimenten überprüft. Mein Tipp: Denke daran, zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 geringer (B)** geworden ist, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 hoch**:

Bd) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du nun weniger deine strategisch guten Experimente mit deinen Ideen und Schlussfolgerungen auf dem Notizblock verbunden. Mein Tipp: Denke daran, bei deinem nächsten Experiment gleich dazu einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 größer (C)** geworden ist, **Variable 2 gering** und **Variable 3 gering**:

Ca) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du schon mehr eingezeichnete Ideen und Schlussfolgerungen mit strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Überlege dir noch mehr Ideen, die du einzeichnen kannst und überprüfe sie in strategisch guten Experimenten. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 größer (C)** geworden ist, **Variable 2 gering** und **Variable 3 hoch**:

Cb) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du schon mehr eingezeichnete Ideen und Schlussfolgerungen mit strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Denke dran, bei deinem nächsten Experiment auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 größer (C)** geworden ist, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 gering**:

Cc) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du schon mehr eingezeichnete Ideen und Schlussfolgerungen mit strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Denke daran, zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 größer (C)** geworden ist, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 hoch**:

Cd) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du schon mehr eingezeichnete Ideen und Schlussfolgerungen mit strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Versuche noch weitere Ideen in strategisch guten Experimenten zu überprüfen und deine Schlussfolgerungen daraus auf dem Notizblock festzuhalten.“

Wenn **Variable 1 gleich gering geblieben (D)** ist **Variable 2 gering** und **Variable 3 gering**:

Da) „Du hast immer noch wenig Ideen eingezeichnet und dazu wenig strategisch gute Experimente zur Überprüfung durchgeführt. Mein Tipp: Überlege dir als nächstes eine Idee, die du einzeichnen kannst und überprüfe sie in strategisch guten Experimenten. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 gleich gering geblieben (D)**, **Variable 2 gering** und **Variable 3 hoch**:

Db) „Du hast immer noch wenig Ideen und Schlussfolgerungen zu deinen strategisch guten Experimenten auf dem Notizblock eingezeichnet. Mein Tipp: Denke daran, bei deinem nächsten Experiment auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 gleich gering geblieben (D)**, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 gering**:
Dc) „Du hast immer noch wenige deiner eingezeichneten Ideen in strategisch guten Experimenten überprüft. Mein Tipp: Denke daran, zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 gleich gering geblieben (D)**, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 hoch**:
Dd) „Du hast immer noch wenig deine strategisch guten Experimente mit deinen Ideen und Schlussfolgerungen auf dem Notizblock verbunden. Mein Tipp: Denke daran, bei deinem nächsten Experiment dir gleich dazu einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 gleich hoch geblieben (E)** ist, **Variable 2 gering** und **Variable 3 gering**:

Ea) „Du hast weiterhin recht viele deiner eingezeichneten Ideen und Schlussfolgerungen mit deinen strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Überlege dir noch mehr Ideen, die du einzeichnen kannst und überprüfe sie in strategisch guten Experimenten. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 gleich hoch geblieben (E)** ist, **Variable 2 gering** und **Variable 3 hoch**:
Eb) „Du hast weiterhin recht viele deiner eingezeichneten Ideen und Schlussfolgerungen mit deinen strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Denke dran, bei deinem nächsten Experiment auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch deine Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 gleich hoch geblieben (E)** ist, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 gering**:
Ec) „Du hast weiterhin recht viele deiner eingezeichneten Ideen und Schlussfolgerungen mit deinen strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Denke daran, zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 gleich hoch geblieben (E)** geblieben ist, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 hoch**:

Ed) „Du hast weiterhin recht viele deiner eingezeichneten Ideen und Schlussfolgerungen mit deinen strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Versuche noch weitere Ideen in strategisch guten Experimenten zu überprüfen und deine Schlussfolgerungen daraus auf dem Notizblock festzuhalten.“

3) 4) Adaptives Feedback bzw. adaptiver Prompt zum dritten und vierten Zeitpunkt

Wenn **Variable 1 noch null (A)**, **Variable 2 gering** und **Variable 3 gering**:

Aa) „Du hast immer noch zu keinen eingezeichneten Ideen strategisch gute Experimenten zur Überprüfung durchgeführt. Mein Tipp: Versuche erst einmal ein paar Experimente durchzuführen, um eine Idee für eine Beziehung zwischen zwei Begriffen zu bekommen, vergiss nicht diese dann einzuzeichnen.“

Wenn **Variable 1 noch null (A)**, **Variable 2 gering** und **Variable 3 hoch**:

Ab) „Du hast immer noch keine Ideen und Schlussfolgerungen zu deinen strategisch guten Experimenten auf dem Notizblock eingezeichnet. Mein Tipp: Vergiss nicht, beim nächsten Experiment gleich auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 noch null (A)**, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 gering**:

Ac) „Du hast immer noch keine deiner vielen eingezeichneten Ideen in strategisch guten Experimenten überprüft. Mein Tipp: Vergiss nicht, zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 noch null (A)**, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 hoch**:

Ad) „Du hast immer noch keine deiner vielen eingezeichneten Ideen mit deinen strategisch guten Experimente verbunden. Mein Tipp: Vergiss nicht, bei deinem nächsten Experiment gleich auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 geringer (B)** geworden ist, **Variable 2 gering** und **Variable 3 gering**:

Ba) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du nun weniger Ideen eingezeichnet und dazu strategisch gute Experimente zur Überprüfung durchgeführt. Mein Tipp: Überlege dir als nächstes eine Idee die du einzeichnen kannst und überprüfe sie in strategisch guten Experimenten. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 geringer (B)** geworden ist, **Variable 2 gering** und **Variable 3 hoch**:

Bb) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du nun weniger Ideen und Schlussfolgerungen zu deinen strategisch guten Experimenten auf dem Notizblock eingezeichnet. Mein Tipp: Vergiss nicht, bei deinem nächsten Experiment auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 geringer (B)** geworden ist, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 gering**:

Bc) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du nun deine eingezeichneten Ideen seltener in strategisch guten Experimenten überprüft. Mein Tipp: Vergiss nicht, zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 geringer (B)** geworden ist, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 hoch**:

Bd) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du nun weniger deine strategisch guten Experimente mit deinen Ideen und Schlussfolgerungen auf dem Notizblock verbunden. Mein Tipp: Vergiss nicht, bei deinem nächsten Experiment gleich dazu einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 größer (C)** geworden ist, **Variable 2 gering** und **Variable 3 gering**:

Ca) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du schon mehr eingezeichnete Ideen und Schlussfolgerungen mit strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Überlege dir noch mehr Ideen, die du einzeichnen kannst und überprüfe sie in strategisch guten Experimenten. Vergiss nicht, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur eine Sache zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 größer (C)** geworden ist, **Variable 2 gering** und **Variable 3 hoch**:

Cb) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du schon mehr eingezeichnete Ideen und Schlussfolgerungen mit strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Vergiss nicht, bei deinem nächsten Experiment auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch deine Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 größer (C)** geworden ist, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 gering**:

Cc) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du schon mehr eingezeichnete Ideen und Schlussfolgerungen mit strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Vergiss nicht, zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen, also in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur eine Sache zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 größer (C)** geworden ist, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 hoch**:

Cd) „Im Vergleich zum letzten Mal hast du schon mehr eingezeichnete Ideen und Schlussfolgerungen mit strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Versuche noch weitere Ideen in strategisch guten Experimenten zu überprüfen und deine Schlussfolgerungen daraus auf dem Notizblock festzuhalten.“

Wenn **Variable 1 gleich gering geblieben (D)** ist **Variable 2 gering** und **Variable 3 gering**:

Da) „Du hast immer noch wenig Ideen eingezeichnet und dazu wenig strategisch gute Experimente zur Überprüfung durchgeführt. Mein Tipp: Überlege dir als nächstes eine Idee, die du einzeichnen kannst und überprüfe sie in strategisch guten Experimenten. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 gleich gering geblieben (D)**, **Variable 2 gering** und **Variable 3 hoch**:

Db) „Du hast immer noch wenig Ideen und Schlussfolgerungen zu deinen strategisch guten Experimenten auf dem Notizblock eingezeichnet. Mein Tipp: Vergiss nicht, bei deinem nächsten Experiment auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 gleich gering geblieben (D)**, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 gering**:

Dc) „Du hast immer noch wenige deiner eingezeichneten Ideen in strategisch guten Experimenten überprüft. Mein Tipp: Vergiss nicht, zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen. Strategisch gut ist es zum Beispiel, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur ein Merkmal zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 gleich gering geblieben (D)**, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 hoch**:

Dd) „Du hast immer noch wenig deine strategisch guten Experimente mit deinen Ideen und Schlussfolgerungen auf dem Notizblock verbunden. Mein Tipp: Vergiss nicht, bei deinem nächsten Experiment dir gleich dazu einzuzeichnen, was du durch dieses und weitere Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 gleich hoch geblieben (E)** ist, **Variable 2 gering** und **Variable 3 gering**:

Ea) „Du hast weiterhin recht viele deiner eingezeichneten Ideen und Schlussfolgerungen mit deinen strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Überlege dir noch mehr Ideen, die du einzeichnen kannst und überprüfe sie in strategisch guten Experimenten. Vergiss nicht, in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur eine Sache zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 gleich hoch geblieben (E)** ist, **Variable 2 gering** und **Variable 3 hoch**:

Eb) „Du hast weiterhin recht viele deiner eingezeichneten Ideen und Schlussfolgerungen mit deinen strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Vergiss nicht, bei deinem nächsten Experiment auf dem Notizblock einzuzeichnen, was du durch deine Experimente überprüfen willst und was du herausgefunden hast.“

Wenn **Variable 1 gleich hoch geblieben (E)** ist, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 gering**:

Ec) „Du hast weiterhin recht viele deiner eingezeichneten Ideen und Schlussfolgerungen mit deinen strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Vergiss nicht, zu deiner nächsten Idee strategisch gute Experimente im Labor durchzuführen, also in zwei aufeinander folgenden Experimenten nur eine Sache zu verändern und alles andere gleich zu lassen.“

Wenn **Variable 1 gleich hoch geblieben (E)** geblieben ist, **Variable 2 hoch** und **Variable 3 hoch**:

Ed) „Du hast weiterhin recht viele deiner eingezeichneten Ideen und Schlussfolgerungen mit deinen strategisch guten Experimenten verbunden. Mein Tipp: Versuche noch weitere Ideen in strategisch guten Experimenten zu überprüfen und deine Schlussfolgerungen daraus auf dem Notizblock festzuhalten.“

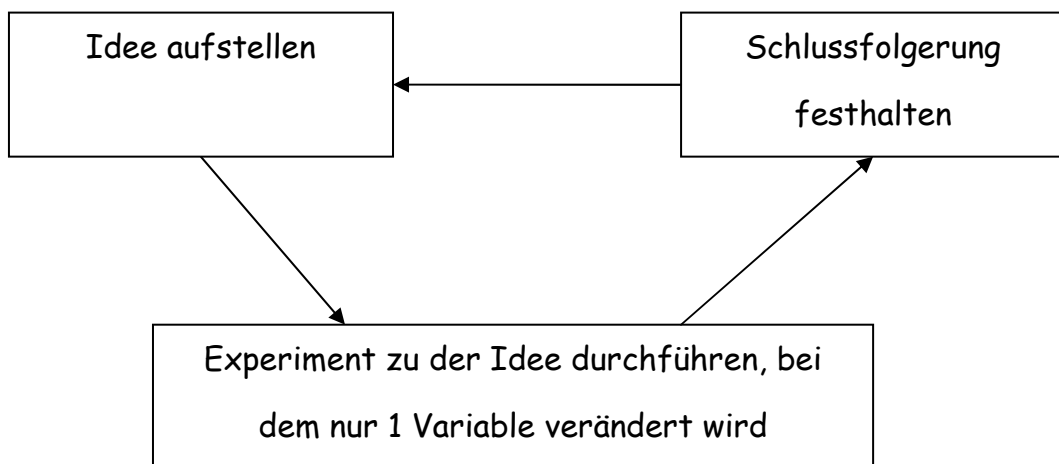
E Übungseinheit „Wie kann ich aus Experimenten lernen“

Wie kann ich aus Experimenten lernen?

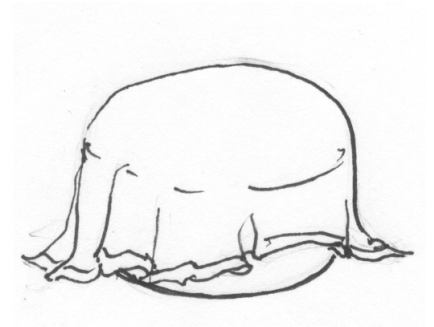
Um aus Experimenten zu lernen, musst du Beziehungen zwischen Variablen herausfinden und sie dir merken!

Was sind Variablen? Variablen sind Eigenschaften, die man verändern und beobachten kann.

Ein sinnvolles Vorgehen bei Experimenten ist:



Beispiel: Wenn man einen Hefeteig abgedeckt gehen lässt, wird er größer und luftiger. Wie bekomme ich einen besonders großen und luftigen Hefeteig?



Variablen, die Einfluss auf die Größe haben können:

- Temperatur beim Gehenlassen (Variable a) z.B. 20° oder 30° C
- Zeitdauer beim Gehenlassen (Variable b) z.B. 30 min. oder 60 min.

Variable, die beobachtet werden kann:

- Volumen des Hefeteiges (Variable c)

Idee: Je größer Variable a desto größer Variable c.

Das bedeutet:

Je wärmer die Temperatur beim Gehenlassen des Teiges (Variable a), desto größer wird der Teig (Variable c).

Experiment:

- Ich muss Variable a verändern,
- alles andere, u.a. Variable b, gleich halten und
- Variable c beobachten.

Das bedeutet:

Ich nehme zweimal die gleiche Menge desselben Hefeteiges und lasse ihn

- einmal bei 20° C und einmal bei 30° C gehen. (= Variable a verändern)

Dabei muss ich darauf achten, keine andere Variable zu verändern. Ich lasse also

- beide genau gleich lang gehen z.B. eine Stunde. (= Variable b gleich halten)
- Dann messe ich das Volumen beider Hefeteige und sehe, dass das Volumen bei 30° C größer ist als bei 20° C. (= Variable c beobachten)

Schlussfolgerung: Ich überlege, ob das beobachtete Ergebnis meines Experiments zu meiner Idee passt.

Das bedeutet:

Ich habe gesehen, dass bei wärmerer Temperatur das Volumen des Teiges größer wurde. Ich kann also die Idee „Je größer Variable a desto größer Variable c“ als bestätigt festhalten.

Als **neue Idee** kann ich prüfen, ob auch die Dauer des Gehenlassens (Variable b) einen Einfluss hat.

F Wissenserwerbstest zu „Säuren und Basen“ (WET Chemie)

F1 Prätest WET Chemie

F2 Posttest WET Chemie

F1: Prätest WET Chemie

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

im Folgenden findest du Fragen zum Thema „Säuren und Basen“.

Beantworte bitte alle Fragen so gut du es kannst. Kreuze dazu die deiner Meinung nach richtige Antwort an. Es ist immer nur eine Antwort richtig. Wenn du die Antwort nicht weißt, kannst du auch „weiß ich nicht“ ankreuzen.

Vielen Dank!

- 1) Lösung A hat ein Volumen von $V = 1 \text{ L}$ und Lösung B hat ein Volumen von $V = 2 \text{ L}$. Beide haben dieselbe Konzentration. Welche der folgenden Aussagen stimmt?
 - a) **Das Volumen der Lösung A ist kleiner als das Volumen der Lösung B.**⁶
 - b) Das Volumen der Lösung A ist größer als das Volumen der Lösung B.
 - c) Die Konzentration der Lösung A ist kleiner als die Konzentration der Lösung B.
 - d) Die Konzentration der Lösung A ist größer als die Konzentration der Lösung B.
 - e) Weiß ich nicht.
- 2) Was passiert, wenn man die Stoffmenge (n) einer sauren Lösung (z.B. $\text{HCl}_{(\text{aq})}$) erhöht, aber ihr Volumen (V) gleich lässt?
 - a) Der pH-Wert wird größer.
 - b) Der pH-Wert bleibt gleich.
 - c) **Die Menge der freien H^+ -Ionen wird größer.**
 - d) Die Menge der freien H^+ -Ionen bleibt gleich.
 - e) Weiß ich nicht.
- 3) Welche Farbe zeigt der Universalindikator bei einer sauren Lösung an?
 - a) gelb-grün
 - b) **rot**
 - c) weiß
 - d) blau
 - e) Weiß ich nicht.
- 4) Welche Werte zeigt der pH-Wert-Messer bei basischen Lösungen an?
 - a) **pH-Werte über 7**
 - b) pH-Werte um 7
 - c) pH-Werte um 1
 - d) pH-Werte unter 1
 - e) Weiß ich nicht.

⁶ Die richtigen Antwortalternativen sind fett markiert.

- 5) Was passiert, wenn man zu einer sauren Lösung Wasser dazu gibt?
- a) Die Mischung wird neutral.
 - b) Die Mischung wird basisch.
 - c) Die Menge der freien H^+ -Ionen wird größer.
 - d) Die Menge der freien H^+ -Ionen bleibt gleich.**
 - e) Weiß ich nicht.
- 6) Welche der folgenden Aussagen bezogen auf Wasser stimmt?
- a) Wasser erhöht die Anzahl der freien OH^- -Ionen.
 - b) Wasser erhöht die Anzahl der freien H^+ -Ionen.
 - c) Wasser hat einen pH-Wert gleich 7.**
 - d) Wasser hat einen pH-Wert größer 7.
 - e) Weiß ich nicht.
- 7) Welche Farbe zeigt der Universalindikator bei einer neutralen Lösung an?
- a) gelb-grün**
 - b) rot
 - c) weiß
 - d) blau
 - e) Weiß ich nicht.
- 8) Wann ist eine Mischung aus zwei Flüssigkeiten neutral? Wenn...
- a) die Menge der freien H^+ -Ionen gleich der Menge der freien OH^- -Ionen ist.**
 - b) die Menge der freien H^+ -Ionen größer als die Menge der freien OH^- -Ionen ist.
 - c) die Universalindikatorfarbe rot ist.
 - d) die Universalindikatorfarbe blau ist.
 - e) Weiß ich nicht.
- 9) Je mehr freie OH^- -Ionen in einer Lösung sind, desto...
- a) basischer ist die Lösung.**
 - b) saurer ist die Lösung.
 - c) dunkler ist die rote Indikatorfarbe.
 - d) heller ist die rote Indikatorfarbe.
 - e) Weiß ich nicht.
- 10) Wann ist eine Mischung aus zwei Flüssigkeiten sauer? Wenn...
- a) die Menge der freien H^+ -Ionen gleich der Menge der freien OH^- -Ionen ist.
 - b) die Menge der freien H^+ -Ionen größer als die Menge der freien OH^- -Ionen ist.**
 - c) die Universalindikatorfarbe gelb-grün ist.
 - d) die Universalindikatorfarbe blau ist.
 - e) Weiß ich nicht.

- 11) Eine Lösung wird so gemischt, dass weniger freie H^+ -Ionen als freie OH^- -Ionen enthalten sind. Welche der Aussagen stimmt?
- a) Die Lösung ist sauer.
 - b) Die Lösung ist basisch.**
 - c) Die Universalindikatorfarbe ist rot.
 - d) Die Universalindikatorfarbe ist gelb-grün.
 - e) Weiß ich nicht.
- 12) Worin unterscheiden sich $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ (Natronlauge) und $\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ (Bariumhydroxid), wenn beide Lösungen dasselbe Volumen (V) und dieselbe Konzentration (c) haben?
- a) $\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ ist eine basische Lösung und $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ ist eine saure Lösung.
 - b) $\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ ist eine saure Lösung und $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ ist eine basische Lösung.
 - c) $\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ ist eine zweihydroxidige Lösung und $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ ist eine einhydroxidige Lösung.**
 - d) $\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$ ist eine einhydroxidige Lösung und $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ ist eine zweihydroxidige Lösung.
 - e) Weiß ich nicht.
- 13) Worin unterscheiden sich eine zweiprotonige saure Lösung und eine einprotonige saure Lösung, wenn beide Lösungen dasselbe Volumen (V) und dieselbe Konzentration (c) haben?
- a) In der zweiprotonigen sauren Lösung sind mehr freie H^+ -Ionen.**
 - b) In der zweiprotonigen sauren Lösung sind weniger freie H^+ -Ionen.
 - c) In der zweiprotonigen sauren Lösung sind mehr freie OH^- -Ionen.
 - d) In der zweiprotonigen sauren Lösung sind weniger freie OH^- -Ionen.
 - e) Weiß ich nicht.
- 14) Bei welcher Mischung ist die Farbe des Universalindikators gelb-grün, wenn beide Lösungen dieselbe Stoffmenge (n) haben?
- a) Mischung aus Schwefelsäure ($\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$) und Bariumhydroxid ($\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$).**
 - b) Mischung aus Salzsäure ($\text{HCl}_{(\text{aq})}$) und Bariumhydroxid ($\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$).
 - c) Mischung aus Natronlauge ($\text{NaOH}_{(\text{aq})}$) und Schwefelsäure ($\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$).
 - d) Mischung aus Natronlauge ($\text{NaOH}_{(\text{aq})}$) und Bariumhydroxid ($\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$).
 - e) Weiß ich nicht.
- 15) Bei einer basischen Lösung ...
- a) ist die Menge der freien H^+ -Ionen gleich der Menge der freien OH^- -Ionen.
 - b) ist die Menge der freien H^+ -Ionen kleiner als die Menge der freien OH^- -Ionen.**
 - c) ist die Universalindikatorfarbe gelb-grün.
 - d) ist die Universalindikatorfarbe rot.
 - e) Weiß ich nicht.

F2: Posttest WET Chemie

Hier findest du noch einmal Fragen zum Thema „Säuren und Basen“. Du kannst berichten, was du heraus gefunden hast, indem du wieder die deiner Meinung nach richtige Antwort ankreuzt oder auch „weiß ich nicht“, falls du die Antwort nicht kennst.

Diese Fragen sind denen im ersten Test sehr ähnlich, aber es sind nicht die gleichen. Viel Spaß!

- 1) Was passiert, wenn man die Stoffmenge (n) einer basischen Lösung (z.B. $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$) erhöht, aber ihr Volumen (V) gleich lässt?
 - a) Der pH-Wert wird größer.
 - b) Der pH-Wert bleibt gleich.
 - c) **Die Menge der freien OH^- -Ionen wird größer.**⁷
 - d) Die Menge der freien OH^- -Ionen bleibt gleich.
 - e) Weiß ich nicht.
- 2) Welche Farbe zeigt der Universalindikator bei einer basischen Lösung an?
 - a) gelb-grün
 - b) rot
 - c) weiß
 - d) **blau**
 - e) Weiß ich nicht.
- 3) Welche Werte zeigt der pH-Wert-Messer bei sauren Lösungen an?
 - a) **pH-Werte unter 7**
 - b) pH-Werte um 7
 - c) pH-Werte um 14
 - d) pH-Werte über 14
 - e) Weiß ich nicht.
- 4) Was passiert, wenn man zu einer basischen Lösung Wasser dazu gibt?
 - a) Die Mischung wird neutral.
 - b) Die Mischung wird sauer.
 - c) Die Menge der freien OH^- -Ionen wird größer.
 - d) **Die Menge der freien OH^- -Ionen bleibt gleich.**
 - e) Weiß ich nicht.

⁷ Die richtigen Antwortalternativen sind fett markiert.

- 5) Welche Farbe zeigt der Universalindikator bei einer neutralen Lösung an?
- a) **gelb-grün**
 - b) rot
 - c) weiß
 - d) blau
 - e) Weiß ich nicht.
- 6) Welche der folgenden Aussagen bezogen auf Wasser stimmt?
- a) Wasser erhöht die Anzahl der freien OH^- -Ionen.
 - b) Wasser erhöht die Anzahl der freien H^+ -Ionen.
 - c) **Wasser hat einen pH-Wert gleich 7**
 - d) Wasser hat einen pH-Wert größer 7
 - e) Weiß ich nicht.
- 7) Wann ist eine Mischung aus zwei Flüssigkeiten neutral? Wenn...
- a) **die Menge der freien H^+ -Ionen gleich der Menge der freien OH^- -Ionen ist.**
 - b) die Menge der freien H^+ -Ionen größer als die Menge der freien OH^- -Ionen ist.
 - c) die Universalindikatorfarbe rot ist.
 - d) die Universalindikatorfarbe blau ist.
 - e) Weiß ich nicht.
- 8) Je mehr freie H^+ -Ionen in einer Lösung sind, desto...
- a) basischer ist die Lösung.
 - b) **saurer ist die Lösung.**
 - c) dunkler ist die blaue Indikatorfarbe.
 - d) heller ist die blaue Indikatorfarbe.
 - e) Weiß ich nicht.
- 9) Wann ist eine Mischung aus zwei Flüssigkeiten basisch? Wenn...
- a) die Menge der freien H^+ -Ionen gleich der Menge der freien OH^- -Ionen ist.
 - b) **die Menge der freien H^+ -Ionen kleiner als die Menge der freien OH^- -Ionen ist.**
 - c) die Universalindikatorfarbe gelb-grün ist.
 - d) die Universalindikatorfarbe rot ist.
 - e) Weiß ich nicht.
- 10) Eine Lösung wird so gemischt, dass weniger freie H^+ -Ionen als freie OH^- -Ionen enthalten sind. Welche der Aussagen stimmt?
- a) Die Lösung ist sauer.
 - b) **Die Lösung ist basisch.**
 - c) Die Universalindikatorfarbe ist rot.
 - d) Die Universalindikatorfarbe ist gelb-grün.
 - e) Weiß ich nicht.

- 11) Worin unterscheiden sich $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ (Salzsäure) und $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ (Schwefelsäure), wenn beide Lösungen dasselbe Volumen (V) und dieselbe Konzentration (c) haben?
- a) $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ ist eine basische Lösung und $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ ist eine saure Lösung.
 - b) $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ ist eine saure Lösung und $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ ist eine basische Lösung.
 - c) $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ ist eine zweiprotonige Lösung und $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ ist eine einprotonige Lösung.
 - d) $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ ist eine einprotonige Lösung und $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ ist eine zweiprotonige Lösung.**
 - e) Weiß ich nicht.
- 12) Worin unterscheiden sich eine zweihydroxidige basische Lösung und eine einhydroxidige basische Lösung, wenn beide Lösungen dasselbe Volumen (V) und dieselbe Konzentration (c) haben?
- a) In der zweihydroxidigen basischen Lösung sind mehr freie H^+ -Ionen.
 - b) In der zweihydroxidigen basischen Lösung sind weniger freie H^+ -Ionen.
 - c) In der zweihydroxidigen basischen Lösung sind mehr freie OH^- -Ionen.**
 - d) In der zweihydroxidigen basischen Lösung sind weniger freie OH^- -Ionen.
 - e) Weiß ich nicht.
- 13) Kann man Schwefelsäure ($\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$) und Bariumhydroxid ($\text{Ba}(\text{OH})_{2(\text{aq})}$) so mischen, dass dabei eine neutrale Lösung entsteht?
- a) Nein, aus der Mischung entsteht immer eine basische Lösung.
 - b) Nein, aus der Mischung entsteht immer eine saure Lösung.
 - c) Ja, wenn beide dasselbe Volumen haben.
 - d) Ja, wenn beide dieselbe Stoffmenge haben.**
 - e) Weiß ich nicht.
- 14) Bei einer sauren Lösung ...
- a) ist die Menge der freien H^+ -Ionen gleich der Menge der freien OH^- -Ionen.
 - b) ist die Menge der freien H^+ -Ionen größer als die Menge der freien OH^- -Ionen.**
 - c) ist die Universalindikatorfarbe gelb-grün.
 - d) ist die Universalindikatorfarbe blau.
 - e) Weiß ich nicht.

G Essener Experimentierstrategie-Wissenstest 2 (EEST-2)

Liebe/r Schüler/in,

im Folgenden werden verschiedene Antworten vorgegeben, um eine bestimmte Frage zu beantworten. Schau dir die Fragen und Antworten genau an. Entscheide dich bei jedem Antwortpaar (A, B, C) für die bessere der beiden angegebenen Antwortalternativen.

Kreuze immer das Kästchen hinter der, deiner Meinung nach, besseren Antwort an.

| | | |
|---|--|--|
| <p>1. Du hast zwei Gesichtscremes, Creme A und Creme B. Nur eine der beiden Cremes wirkt gegen Pickel. Du möchtest herausfinden, welche Creme gegen Pickel wirkt.</p> <p><i>Dir fallen dazu folgende Ideen ein, die du experimentell überprüfen möchtest. Bewerte die Ideen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:</i></p> | | |
| A. | <p>Creme A und Creme B wirken unterschiedlich gut gegen Pickel.</p> <p>Creme A wirkt besser gegen Pickel als Creme B.</p> | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | | |
| B. | <p>Creme A und Creme B wirken unterschiedlich gut gegen Pickel.</p> <p>Weder Creme A noch Creme B wirkt gut gegen Pickel.</p> | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | | |
| C. | <p>Creme A wirkt besser gegen Pickel als Creme B.</p> <p>Weder Creme A noch Creme B wirkt gut gegen Pickel.</p> | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | | |
| <p>2. Du hattest ursprünglich die Idee, dass alle Metalle von Magneten angezogen werden. Nun hast du bei mehreren Experimenten beobachtet, dass das Metall Aluminium nicht von Magneten angezogen wird. Welche Schlussfolgerung ziehst du daraus?</p> <p><i>Dir fallen folgende Schlussfolgerungen ein. Bewerte die Schlussfolgerungen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:</i></p> | | |
| A. | <p>Ich bleibe bei meiner ursprünglichen Idee. Bei der Durchführung der Experimente habe ich bestimmt nur einen Fehler gemacht.</p> <p>Ich bleibe bei meiner ursprünglichen Idee. Nur wenn ich noch mehr Metalle neben Aluminium finde, die nicht angezogen werden, ändere ich sie.</p> | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | | |
| B. | <p>Ich bleibe bei meiner ursprünglichen Idee. Bei der Durchführung der Experimente habe ich bestimmt nur einen Fehler gemacht.</p> <p>Ich ändere meine Idee. Die Ergebnisse der Experimente sprechen gegen meine ursprüngliche Idee.</p> | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |
| | | |
| C. | <p>Ich bleibe bei meiner ursprünglichen Idee. Nur wenn ich noch mehr Metalle neben Aluminium finde, die nicht angezogen werden, ändere ich sie.</p> <p>Ich ändere meine Idee. Die Ergebnisse der Experimente sprechen gegen meine ursprüngliche Idee.</p> | <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> |

| | | |
|--|---|-------------------------------------|
| <p>3. Du möchtest durch Experimente herausfinden, wie die Stromstärke mit dem Durchmesser und der Länge eines Kupferdrahtes zusammenhängt. (Die Spannung ist dabei in jedem Experiment konstant.) Wie gestaltest du deine Experimente?</p> <p><i>Dir fallen folgende Vorgehensweisen ein. Bewerte die Vorgehensweisen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:</i></p> | | |
| A. | Ich messe die Stromstärke bei gleich langen Kupferdrähten mit verschiedenen Durchmessern und dann bei verschiedenen langen Kupferdrähten mit gleichem Durchmesser. | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | Ich messe die Stromstärke bei verschiedenen Kupferdrähten, die sich in ihrer Länge und ihrem Durchmesser unterscheiden. Aus den Ergebnissen versuche ich Zusammenhänge zu erkennen. | <input type="checkbox"/> |
| | | |
| B. | Ich messe die Stromstärke bei gleich langen Kupferdrähten mit verschiedenen Durchmessern und dann bei verschiedenen langen Kupferdrähten mit gleichem Durchmesser. | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | Ich messe die Stromstärke bei einem dünnen langen Kupferdraht und dann messe ich die Stromstärke bei einem dicken kurzen Kupferdraht. | <input type="checkbox"/> |
| | | |
| C. | Ich messe die Stromstärke bei verschiedenen Kupferdrähten, die sich in ihrer Länge und ihrem Durchmesser unterscheiden. Aus den Ergebnissen versuche ich Zusammenhänge zu erkennen. | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | Ich messe die Stromstärke bei einem dünnen langen Kupferdraht und dann messe ich die Stromstärke bei einem dicken kurzen Kupferdraht. | <input type="checkbox"/> |
| | | |
| <p>4. Du hast Staub- und Zahnpastaflecken in der Kleidung. Du willst durch Experimente herausfinden, welcher Fleck sich durch warmes Wasser und welcher sich durch Seife entfernen lässt.</p> <p><i>Dir fallen dazu folgende Ideen ein, die du experimentell überprüfen möchtest. Bewerte die Ideen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:</i></p> | | |
| A. | Staub- oder Zahnpastaflecken können entweder durch warmes Wasser oder durch Seife entfernt werden. | <input type="checkbox"/> |
| | Staubflecken können durch warmes Wasser und Zahnpastaflecken durch Seife entfernt werden. | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | | |
| B. | Staub- oder Zahnpastaflecken können entweder durch warmes Wasser oder durch Seife entfernt werden. | <input type="checkbox"/> |
| | Staubflecken können durch warmes Wasser entfernt werden, Zahnpastaflecken entweder durch warmes Wasser oder Seife. | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | | |
| C. | Staubflecken können durch warmes Wasser und Zahnpastaflecken durch Seife entfernt werden. | <input checked="" type="checkbox"/> |
| | Staubflecken können durch warmes Wasser entfernt werden, Zahnpastaflecken entweder durch warmes Wasser oder Seife. | <input type="checkbox"/> |

| | |
|---|--|
| <p>5. Du möchtest durch Experimente herausfinden, wie Brennweite, Bildgröße und Gegenstandsweite einer Sammellinse zusammenhängen. Wie gehst du vor, um möglichst viel über diesen bestimmten Zusammenhang zu lernen?</p> <p><i>Dir fallen folgende Vorgehensweisen ein. Bewerte die Vorgehensweisen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:</i></p> | |
| A. | <p>Ich notiere die Ergebnisse meiner Experimente. Dann ziehe ich daraus eine Schlussfolgerung und halte diese schriftlich fest.</p> <p>Ich notiere die Ergebnisse nicht, sondern mache zusätzlich Experimente zu Hohlspiegeln. Vielleicht finde ich ja noch mehr heraus.</p> |
| B. | <p>Ich notiere die Ergebnisse meiner Experimente. Dann ziehe ich daraus eine Schlussfolgerung und halte diese schriftlich fest.</p> <p>Ich notiere die Ergebnisse meiner Experimente. Dann schaue sie mir immer wieder an, damit ich sie mir merke.</p> |
| C. | <p>Ich notiere die Ergebnisse nicht, sondern mache zusätzlich Experimente zu Hohlspiegeln. Vielleicht finde ich ja noch mehr heraus.</p> <p>Ich notiere die Ergebnisse meiner Experimente. Dann schaue sie mir immer wieder an, damit ich sie mir merke.</p> |
| | |
| <p>6. Du möchtest durch Experimente herausfinden, ob sich die Raumtemperatur verändert, wenn die Kühlschranktür offen stehen bleibt.</p> <p><i>Dir fallen folgende Vorgehensweisen ein, um die Frage zu beantworten. Bewerte die Vorgehensweisen, indem du von zweien jeweils die bessere ankreuzt:</i></p> | |
| A. | <p>Ich messe die Raumtemperatur bei offen stehender Kühlschranktür.</p> <p>Ich messe die Raumtemperatur vor und nach dem Öffnen der Kühlschranktür.</p> |
| B. | <p>Ich messe die Raumtemperatur bei offen stehender Kühlschranktür.</p> <p>Ich messe die Raumtemperatur mehrmals vor dem Öffnen und mehrmals nach dem Öffnen der Kühlschranktür.</p> |
| C. | <p>Ich messe die Raumtemperatur vor und nach dem Öffnen der Kühlschranktür.</p> <p>Ich messe die Raumtemperatur mehrmals vor dem Öffnen und mehrmals nach dem Öffnen der Kühlschranktür.</p> |

H Mittelwerte und Standardabweichungen der
Kontrollvariablen nach Gruppenbedingung getrennt

Tabelle H.1: Mittelwerte und Standardabweichungen der KV nach Gruppe

| | N | Mittelwert | Standardabweichung |
|---------------------------|----|------------|--------------------|
| Kognitive Fähigkeiten | | | |
| KG | 24 | .790 | .146 |
| EG1 | 24 | .810 | .157 |
| EG2 | 21 | .812 | .109 |
| EG3 | 18 | .763 | .092 |
| Motivation zu Beginn | | | |
| KG | 26 | .478 | .219 |
| EG1 | 24 | .452 | .226 |
| EG2 | 23 | .553 | .149 |
| EG3 | 18 | .467 | .186 |
| Interesse Physik | | | |
| KG | 27 | .471 | .227 |
| EG1 | 25 | .453 | .181 |
| EG2 | 23 | .425 | .218 |
| EG3 | 18 | .469 | .226 |
| Interesse Chemie | | | |
| KG | 27 | .492 | .231 |
| EG1 | 25 | .533 | .236 |
| EG2 | 23 | .559 | .172 |
| EG3 | 18 | .534 | .243 |
| Vorwissen Physik | | | |
| KG | 27 | .323 | .188 |
| EG1 | 25 | .306 | .192 |
| EG2 | 23 | .311 | .134 |
| EG3 | 18 | .325 | .214 |
| Vorwissen Chemie | | | |
| KG | 21 | .167 | .175 |
| EG1 | 22 | .146 | .181 |
| EG2 | 21 | .191 | .192 |
| EG3 | 18 | .246 | .170 |
| Strategiewissen zu Beginn | | | |
| KG | 27 | .696 | .194 |
| EG1 | 25 | .649 | .205 |
| EG2 | 23 | .710 | .197 |
| EG3 | 18 | .747 | .194 |